Aus der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. W. Schulte
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Vergleichende Untersuchungen der Tastsensibilität beim natürlichen Zahn und beim Tübinger Implantat

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Jörg Meyle
aus Esslingen am Neckar

1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546514_0028

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Chirurgie und Parodontologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. W. Schulte
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Vergleichende Untersuchungen der Tastsensibilität beim natürlichen Zahn und beim Tübinger Implantat

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Jörg Meyle
aus Esslingen am Neckar

1984

Dekan:	Professor Dr. D. Plester
1. Berichterstatter:	Professor Dr. W. Schulte
2. Berichterstatter:	Professor Dr. Dr. N. Schwenzer

REFO-DRUCK HANS VOGLER TÜBINGEN

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	S. 3
2.	LITERATURÜBERSICHT	
2.1	ANATOMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN	
2.1.1	Anatomie der Nervenversorgung	S. 4
2.1.2	Neurophysiologische Untersuchungen	S. 6
2.1.3	Subjektive sinnesphysiologische Untersuchungen	S. 10
2.1.4	Zusammenfassung	S. 17
2.2	LITERATUR 'DAS TÜBINGER IMPLANTAT'	
2.2.1	Entwicklung	S. 18
2.2.2	Materialzusammensetzung u. Implantatform	S. 18
2.2.3	Implantationstechnik	S. 25
2.2.4	Pathophysiologie der Einheilung	S. 27
2.2.5	Histologie u. Pathophysiologie der periimplantären Grenzschicht	S. 27
2.2.6	Grundlagen der prothetischen Versorgung	S. 28
3.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	
3.1	PROBLEMSTELLUNG	S. 30
3.2	MATERIAL UND METHODEN	S. 30
3.2.1	Der Kraftgeber	S. 32
3.2.2	Der Kraftfühler	S. 37
3.2.3	Verarbeitung und Aufzeichnung der Meßwerte	S. 37
3.2.4	Patientenauswahl	S. 43
3.2.5	Die Meßobjekte	S. 43
3.2.6	Gliederung des zeitlichen Ablaufs	S. 43

3.2.7	Ablauf einer Einzelmessung	S. 47
3.2.8	Vorversuche	S. 46
3.2.9	Fehlerbetrachtung	S. 53
3.2.10	Methode der Umfragen	S. 54
3.2.11	Statistische Berechnungen	S. 59
3.3	ERGEBNISSE	S. 61
3.3.1	Ergebnisse der Sensibiliätsmessungen nach Oberflächenanästhesie	S. 79
3.3.2	Nachwirkung von Empfindungen	S. 82
3.4	FRAGEBOGENAKTION 1980 UND 1981	S. 84
3.4.1	Ergebnisse der Zusatzbefragung 1981	S. 93
4.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	S. 97
5.	ZUSAMMENFASSUNG	S. 106
6.	ANHANG	S. 108
7.	LITERATURVERZEICHNIS	S. 125

1. EINLEITUNG

Die Implantation von Fremdmaterial in einen lebenden Organismus ist nicht unproblematisch. Beim Ersatz von Zähnen durch Implantate müssen neben den allgemeingültigen Grundsätzen der Implantologie, also bspw. der Gewebeverträglichkeit, die besonderen anatomischen und physiologischen Gegebenheiten der Mundhöhle Berücksichtigung finden. Dabei ist die Integration des Fremdkörpers in das orale Sensorium für den Langzeiterfolg einer derartigen Versorgung von entscheidender Bedeutung. Da beim enossal verankerten Implantat sämtliche desmodontalen Mechanorezeptoren fehlen, entsteht ein Informationsmangel in der Kybernetik des Kausystems.

Unklar ist bisher, ob der menschliche Körper in der Lage ist, dieses Defizit über gingivale und enossale Rezeptoren ganz oder teilweise auszugleichen. Auch über die zeitlichen Zusammenhänge, die bei der Ausbildung einer derartigen Ersatzfunktion sicher eine wesentliche Rolle spielen, ist bisher nicht viel bekannt. Natürlich ist dies auch von mechanischen Faktoren, wie der Implantatbelastung und der prothetischen Versorgung abhängig. Da nach der Implantation unter Umständen ein direkter Kontakt zwischen Nervenfaserstümpfen und dem Fremdmaterial besteht, könnten bei dem Patienten Mißempfindungen oder ein sog. Fremdkörpergefühl auftreten. Somit entscheidet das subjektive Empfinden des Implantatträgers mit über Erfolg oder Mißerfolg eines derartigen Verfahrens.

Mit unseren Untersuchungen der Tastsensibilität an natürlichen Zähnen und an Tübinger Implantaten wollten wir die oben angeschnittenen Fragen näher beleuchten und damit zu einem besseren Verständnis dieser speziellen Problematik beitragen.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1.1 Anatomie der Nervenversorgung

Zahn und Parodontium sind über zahlreiche sensible Fasern in das orale Sensorium integriert. Aus den sensiblen Nerven des Plexus dentalis zweigen Fasern zur Pulpa ab, außerdem treten am Alveolengrund Fasern in den Parodontalspalt ein und verlaufen in Längsbündeln zur marginalen Gingiva. Diese Fasern haben nach Lewinsky und Stuart (34) untereinander Verbindung und werden durch zusätzliche Bündel,die durch Foramina im Limbus alveolaris in den PA - Spalt eintreten, unterstützt. Von diesen Bündeln zweigen kleine Äste ab, die sich weiter verzweigen.

Die histologische Struktur der Endorgane dieser Fasern wurde 1936 erstmals von van der Sprenkel beschrieben. Er fand im Desmodont von Mäusen kleine Endringe markloser Nervenfasern, die von markhaltigen Fasern stammten (14,65).
1937 konnten Lewinsky und Stuart diese Endorgane nicht nachweisen und beschrieben, daß viele Fasern in gerundeten Körperchen endeten (34).

Unterschiedliche Ergebnisse anderer Untersucher konnten keine Klarheit bringen, sodaß Anderson et al. 1970 feststellen mußte, die Struktur der Nervenendigungen im Desmodont sei noch nicht klar (2).
Die 1972 veröffentlichten grundlegenden Arbeiten von Griffin und Spain (14,15,16,41) zu diesem Thema führten zu einem wesentlich besseren Verständnis.
So ist man heute der Auffassung, daß im Desmodont im wesentlichen 3 verschiedene Arten von Nervenendigungen vorkommen:

1. freie Nervenendigungen nicht myelinisierter Fasern, die in einer knollen -,bzw. birnenförmigen Axonverdickung enden. Diese Verdickung enthält zahlreiche Vesikel und Mitochondrien (66).

2. zwei Arten von umkapselten Endorganen, denen die Funktion von Mechanorezeptoren zugeschrieben wird:

Bei Typ I handelt es sich um ein knötchen - bzw. spindelförmiges Endorgan, dessen größter Durchmesser 7 - 12 µm beträgt. Eine zunächst markhaltige Nervenfaser verliert nach dem Eintritt in die Primärkapsel ihre Myelinscheide und wird von marklosen Fasern und Zellen der Primärkapsel umgeben. Nach Griffin und Spain entspricht dieses Endorgan, den von Lewinsky und Stuart angegebenen knötchenförmigen Endigungen.

Bei Typ II treten 2 oder mehrere myelinisierte Fasern in eine Kapsel ein. Diese verlieren nach und nach ihre Myelinscheiden und werden von ringförmig bzw. spiralig angeordneten marklosen Fasern umgeben, die sich mehrfach verzweigen und frei enden. Dieses umkapselte Endorgan wird im Gegensatz zum Typ I durch Blutgefäße direkt versorgt (14,16,66). Sein größter Durchmesser beträgt 15 - 25 µm. Griffin und Spain verglichen dieses Endorgan mit den Endringen van der Sprenkels (14,16,41).

In mehreren Fällen wurde auch eine sekundäre Kapsel beobachtet, die sowohl Typ I -, als auch Typ II - - Endorgane umgab. Die freien Nervenenden werden mit der Schmerzperzeption oder mit vegetativen Funktionen in Verbindung gebracht, während man den umkapselten Endorganen pressorezeptive Eigenschaften zuordnet.

Die Ergebnisse licht - und elektronenmikroskopischer Forschungen werden durch Untersuchungen von Pimenidis und Hinds untermauert (49).

Mit Hilfe der Autoradiographie gelang ihnen bei der Ratte die Darstellung von sensiblen Nervenfasern und Endorganen, sowohl im Dentin und in der Pulpa, als auch im Desmodont.

2.1.2 Neurophysiologische Untersuchungen

Die nach Belastung eines Zahnes, bzw. mehrerer Zähne in den peripheren dentalen Nerven auftretende Aktivität wurde bei der Katze, beim Hund und anderen Tieren gemessen (2,7,48).
Auf Grund dieser Untersuchungen gibt es aus physiologischer Sicht mindestens 2 Arten von verschiedenen Mechanorezeptoren:

a) schnell adaptierende Einheiten, die bei der Reizung sofort aber nur kurzzeitig Impulse senden

b) spontan entladende langsam adaptierende Einheiten, die während der gesamten Reizdauer Impulse senden.

Die Ursache der Spontanentladungen war zunächst ungeklärt (2,18). Nach Untersuchungen von Hannam soll es sich dabei teilweise um pulssynchrone Entladungen handeln, die durch die Versorgungsgefäße der Rezeptoren hervorgerufen werden.

Nach Griffin und Spain entsprechen den physiologischen Eigenschaften histologisch die beobachteten Endorgane. Dies würde bedeuten, daß es sich bei den Typ I - - Endorganen um schnell adaptierende Einheiten und bei dem Typ II um langsam adaptierende Einheiten handelt (14,15,16,18).

Die bei den verschiedenen Tierarten gesammelten Ergebnisse erfahren durch die Arbeiten von Vallbo und

Hagbarth, bzw. Johansson und Olsson eine wertvolle Ergänzung.

Eine spezielle von Vallbo und Hagbarth (74) entwickelte Mikroelektrode zur Darstellung von Aktionspotentialen einzelner Einheiten des N. mandibularis beim Menschen verwendeten Johanssen und Olsson in ihren Selbstversuchen (27). Ihre Ergebnisse stimmen mit denen der zahlreichen Tierversuche überein. Außerdem fanden sie eine weitgehende Ähnlichkeit zu Hautrezeptoren. Die Ähnlichkeit im Verhalten parodontaler Mechanorezeptoren mit den cutanen Mechanorezeptoren wird auch von Anderson, Hannam und Mathews festgestellt (2).

Durch die Existenz dieser speziellen Organe wird der Zahn, als Empfänger von Berührungs - und Druckreizen, zu einem wichtigen Glied in der Kybernetik des Kausystems (s.Abb.1 S.8). Neben seiner Bedeutung als Kauorgan erhält er damit eine ebenso große Bedeutung als Tastorgan (65).

Seit der Arbeit von Sherrington im Jahr 1917 ist es bekannt, daß Druckreize der Zähne und der marginalen Gingiva bei der decerebrierten Katze zu einer reflexartigen Öffnung des tonisch geschlossenen Kiefers führen. Dabei kommt es zunächst zu einer Hemmung der Schließmuskeln mit einer anschließenden Aktivierung der Kieferöffner (2,48). Dieser polysynaptische Kieferöffnungsreflex wird sehr wahrscheinlich durch die schnell adaptierenden Typ I Mechanorezeptoren ausgelöst (2,15,16,29,41).

Beim normalen Kauvorgang spielt dieser Reflex keine Rolle. Zur Reflexauslösung sind Kraftstöße notwendig, die für das Individuum mit Gefahren für seinen Kauapparat verbunden sind (2,29). Die Muskelaktivitäten werden beim Kauen hauptsächlich durch Muskelspindeln und Rezeptoren im Kiefergelenk gesteuert (2).

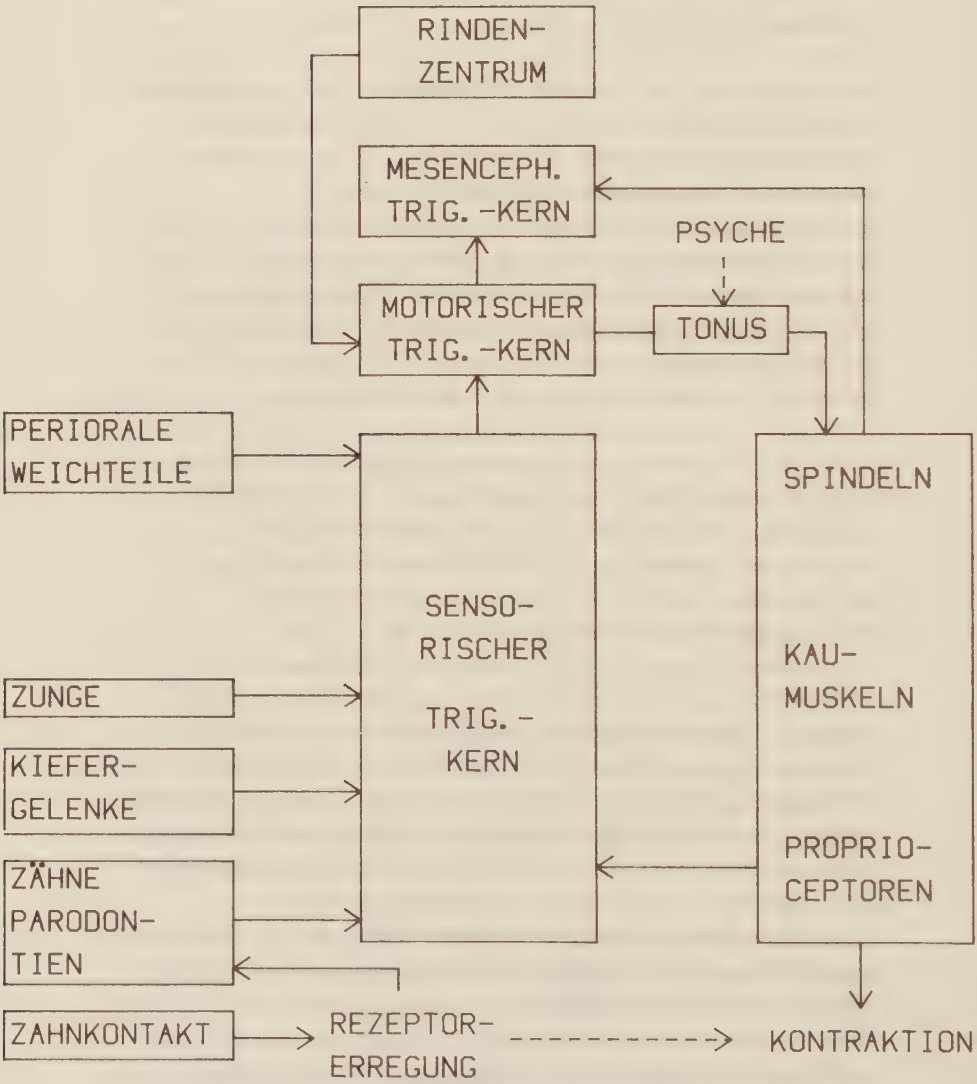


Abb.: 1 Kybernetik des Kausystems
Umzeichnung nach *SCHULTE* (68)

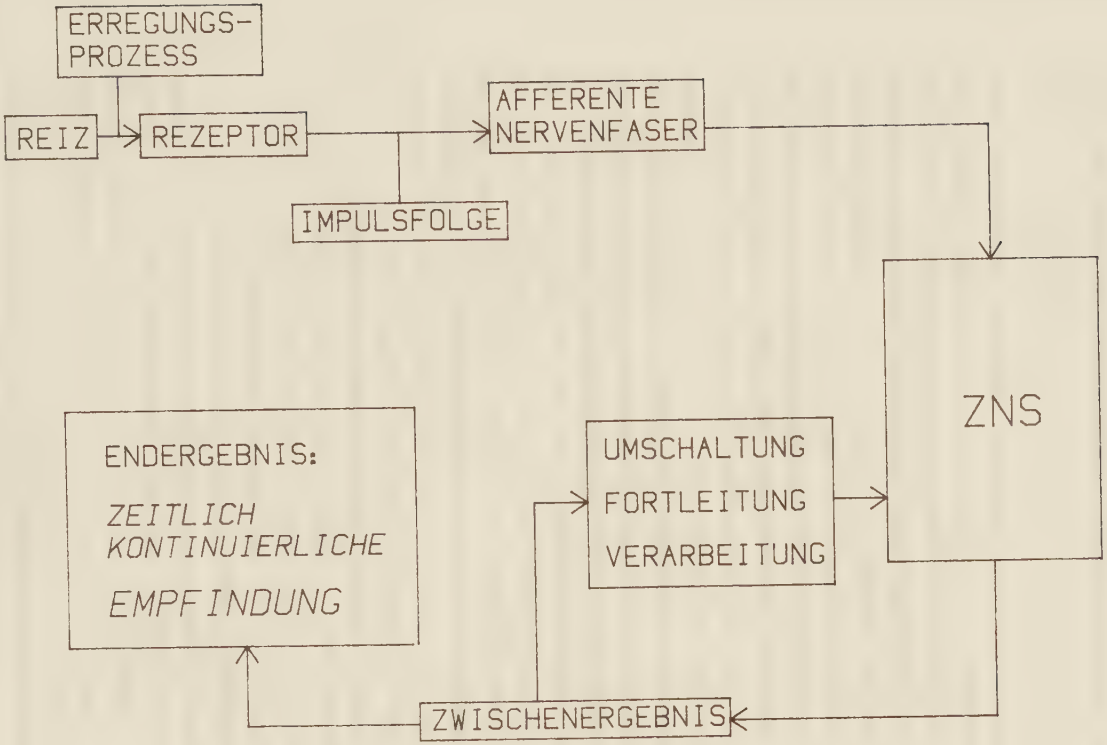


Abb. 2: Entstehung einer Empfindung
Umzeichnung nach *Bruggencate* (58)

Deshalb waren bei Patienten, deren Zähne im Ober- und Unterkiefer durch enossale Implantate und eine festsitzende prothetische Versorgung ersetzt worden waren, keine Störungen ihrer Kaufunktion zu beobachten (19).

Kawamura (29) beschreibt u.a. folgende Funktionen des Desmodonts:

- Schutzreflexinduktion für den Mund
- Ertastung der physikalischen Eigenschaften der Nahrung - Größe und Härte
- reflexive Regulation der Kaukraft entsprechend den physikalischen Nahrungseigenschaften
- Kontrolle und Feinabstimmung der Kaumuskulatur
- Beitrag zur okklusalen Orientierung der Mandibula

Neben anderen Rezeptoren leisten die parodontalen Mechanorezeptoren also einen wesentlichen Beitrag zu den Druck - und Berührungsempfindungen, die von den Zähnen ausgehen.

2.1.3 Subjektive sinnesphysiologische Untersuchungen

Reiz und Empfindung bilden den Anfang, bzw. das Ende einer Kette verwickelter neurophysiologischer Abläufe (s.Abb.2 S.9).

Die Empfindung ist das bewußte elementare Sinneserlebnis infolge eines Reizes. Jede Sinnesempfindung hat die Dimensionen:

- Intensität
- Raum
- Zeit
- charakteristische Qualität

1860 schuf Fechner die Grundlagen der Reiz - Empfindungskorrelation durch die von ihm so bezeichnete Psychophysik. 1960 stellte Stevens durch die nach ihm benannte Potenzfunktion die Aussagen Fechners auf eine neue Grundlage.

Leider ist diese Funktion schon zur Beschreibung von Empfindungen ausgehend von cutanen Mechanorezeptoren nur selten geeignet und dürfte daher bei der Beschreibung von so komplexen Empfindungen, wie der Tast- und Drucksensibilität des Zahnes völlig versagen (5).
Der Unterschied zwischen Reiz und Empfindung kann an folgendem Beispiel verdeutlicht werden:

Obwohl im Parodont spontanentladende Rezeptoren vorhanden sind (Typ II Rezeptor) konnten im Ganglion Gasseri oder im mesencephalen Kern des Trigeminus keine spontanaktiven Einheiten gefunden werden (2). Man nimmt an, daß diese Entladungen zur Tonuserhaltung der Motoneurone notwendig sind (15). Nach Untersuchungen von Anderson und Linden unterliegen die afferenten Reize der Mechanorezeptoren im ZNS auch Einflüssen des autonomen Nervensystems (67).

Es gibt auch bis heute keinen Anhaltspunkt dafür, daß dadurch subjektiv wahrnehmbare Empfindungen oder Mißempfindungen hervorgerufen würden.

Durch verschiedenartigste Versuchanordnungen wurde bis heute versucht, die minimale Intensitätsschwelle der Berührungs- und Druckempfindungen der Zähne, hervorgerufen durch eine mechanische Belastung, festzustellen.

Münch und Schriever fanden bei Belastung von Zähnen mit v. Frey`schen Reizhaaren bei verschiedenen

Versuchspersonen Schwellenwerte von 1 g - 1,5 g max. 2 g bei Schneide- und Eckzähnen und 1,5 g - 3 g max. 5 g bei Prämolaren und Molaren. Diese Werte sind so zu verstehen, daß bei der Belastung eines Zahns mit dem o.g. Betrag bei dem Proband erstmals eine Tastempfindung ausgelöst wurde (46).

Auch in der 1952 von Skramlik veröffentlichten Arbeit wurden zur Bestimmung der Tastschwelle v. Frey`sche Reizhaare verwendet. Er gibt dabei als Schwellenwerte 1,3 - 1,7 g Belastung bei den Schneidezähnen, 2,5 - - 3,1 g bei den Eckzähnen und 6,2 - 7,4 g bei den Molaren an. Er postulierte auch die Existenz von Druckrezeptoren im Parodont, bzw. im Zahn selbst, wofür aber die anatomisch - histologischen Grundlagen fehlten (70).

Einen neuen Ansatz zeigten dann Löwenstein und Rathkamp 1955. Bei der Prüfung der v. Frey`schen Reizhaare stellten sie Kraftschwankungen von +/- 35% fest. Sie verließen daher diese Reizmethode und verwendeten ein von ihnen entwickeltes "Federesthesiometer". Damit konnte die Kraft gezielt in Richtung der Zahnlängsachse appliziert werden. Allerdings war eine Kontrolle der Kraftanstiegsgeschwindigkeit nicht möglich. Sie ermittelten nach Messungen an 15 Probanden im Oberkiefer für den ersten Schneidezahn eine Schwellenbelastung von 0,948 g, für den zweiten Schneidezahn von 1,094 g und für den Eckzahn von 1,811 g. Für den Unterkiefer wurden etwas niedrigere Werte angegeben (37).

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen kam Wilkie unter Verwendung eines Nachbaus des "Federesthesiometers" (75).

Edel und Wills ermittelten die Sensibilitätsschwelle mit einem eigenen von ihnen entwickelten Apparat, der

mit Hilfe einer Miniplastschiene auf der Zahnreihe befestigt wurde. Durch Verwendung von Dehnmeßstreifen (DMS) und elektronische Aufzeichnung konnten die Kraft, Kraftanstiegsgeschwindigkeit und die Schwellenwerte exakt gemessen werden. Die Kraft wurde durch eine Spule und über ein Relais mit langem Hebelarm eingeleitet. Die Messungen erfolgten an 8 verschiedenen ausgewählten Probandinnen. Die Reizschwelle lag bei ihnen bei einer Belastung zwischen 0,7 und 2,9 cN (Centinewton). Nach terminaler Anästhesie beobachteten sie einen völligen Sensibilitätsverlust (9).

1960 teilten Kawamura und Watanabe die Ergebnisse ihrer Untersuchungen über das minimale Dickenunterscheidungsvermögen der Zähne mit. Dabei wurden den Probanden Stahldrähte unterschiedlichen Durchmessers zwischen die Zähne gelegt.

Sie konnten nachweisen, daß diese Sensibilität bei Prothesenträgern merklich reduziert war. Außerdem fanden sie, daß bei größerem Durchmesser des Stahldrahtes außer den parodontalen Rezeptoren auch solche im Muskel- und Kiefergelenkbereich aktiviert wurden (30). Dieselbe Ansicht vertritt auch Sessle (67).

Ähnliche Untersuchungen wurden 1962 von Tryde (73) und 1963 von Siirilä (69) durchgeführt. Bei beiden wurden dem Probanden dünne Silber-, Aluminium-, bzw. Zinnfolien zwischen die Zahnreihen gelegt und untersucht, welche minimale Folienstärke gerade noch ertastet werden konnte.
Tryde fand als Schwellenwerte Folienstärken zwischen 10 µm und 35 µm. Die Auswertung erfolgte dabei nach der S 50 - Methode der experimentellen Psychologie, d.h. als Reizschwelle wurde die Folienstärke angenommen bei welcher der Proband in 50% der Fälle eine richtig positive Antwort gab.

Siirilä und Laine (69) berichteten über Tastschwellen bei Folienstärken zwischen 8 und 60 µm. Dieser Bereich war ihren Angaben zufolge auf größere interindividuelle Schwankungen zurückzuführen. Nach Lokalanästhesie beobachteten sie keine nennenswerte Änderung der Tastfähigkeit.

1974 wurde von Mühlbradt und Lukas ein federgefesselter Drehschwinger konstruiert, der mit linear ansteigender Kraft einen Zahn belastet und so bei dem Probanden entsprechende Berührungs- und Druckempfindungen auslöst. Damit wurde es möglich, bei linearem Kraftanstieg und Steuerung der Kraftanstiegsgeschwindigkeit, die sogenannte "taktile Schwelle" der Oberkieferzähne zu ermitteln (45).

Schon bei den ersten Messungen zeigten sich große interindividuelle Schwankungen, sodaß es nicht zu vertreten war, eine allgemeine repräsentative Schwelle für jeden Einzelzahn anzugeben. Es wurden für die oberen mittleren Schneidezähne Werte < 1 cN ermittelt (42).

Die Probanden gaben bei den Messungen zwei Empfindungsschwellen an, eine erste in ihrer Qualität nicht näher zu definierende Empfindung und kurz dannach eine zweite Empfindung, die deutlich als ganz leichter Druck wahrgenommen wurde.

Bei Messungen an parodontal erkrankten Zähnen, mit mehr oder weniger ausgeprägter Zerstörung des Zahnhalteapparates wurden im Vergleich zu gesunden Zähnen deutlich höhere Schwellen gemessen. Dies wurde mit der Verringerung der Anzahl funktionstüchtiger Pressosensoren in Zusammenhang gebracht. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß sich die parodontalen Mechanorezeptoren gleichmäßig im gesamten Desmodontalraum verteilen und somit

die Gesamtimpulsstromstärke mit Fortschreiten der Parodontopathie abnimmt (43).

Grundlegende Untersuchungen zur Bestimmung der taktilen Schwelle wurden auch von Jenz 1976 durchgeführt (26). Bei Messungen mit dem obengenannten Drehschwinger an 20 Probanden wurden Schwellenwerte im Bereich von 1 -3 cN ermittelt. Auf Grund größerer interindividueller Schwankungen lehnte es J. ebenfalls ab einen allgemeinen repräsentativen Schwellenwert für einen bestimmten Zahn anzugeben. Er führte dies auf die interindividuell unterschiedliche Anzahl der mechanorezeptiven Einheiten zurück.

Auch er fand Anzeichen dafür, daß es sich bei der taktilen Schwelle um ein sensorisches Intervall handeln könnte, da die Patienten über zwei unterschiedliche Stufen des Empfindens berichteten. Er bestätigte die von Mühlbradt schon früher festgestellte Abhängigkeit von der Kraftanstiegsgeschwindgkeit (26,42). Er beobachtete eine Erhöhung der Schwellen bei höherer Kraftanstiegsgeschwindigkeit.

1978 veröffentlichten van Steenberghe und de Vries die Ergebnisse ihrer Untersuchungen über die psycho-physikalische Reizschwelle der menschlichen Mechano-rezeptoren.

Dabei wurden Berührungs- und Druckreize auf pneumatischem Wege durch ein kleines Stahlstäbchen auf Oberkieferfrontzähne übertragen. Dieser Stift war mit dem einen Ende im Mittelpunkt einer runden Membran befestigt und das andere Ende wurde auf die Labialfläche eines oberen Frontzahnes geklebt. Der Träger für die Membran wurde an den Oberkiefer-seitenzähnen befestigt. Minimale Zahnbewegungen des zu messenden Zahnes wurden durch einen DMS erfaßt,

dessen Träger an einem der oberen Eckzähne befestigt worden war.

Aufgrund des Meßprinzips mußten die Messungen in einem klimatisierten Raum stattfinden. Die Kraftanstiegsgeschwindigkeit betrug 0,5 cN/sec. Die Kraft stieg solange kontiniuerlich an bis der Proband eine Empfindung signalisierte. Für den Zann 11 wurden bei 4 verschiedenen Probanden Empfindungsschwellen bei einer Zahnbelastung zwischen 5 und 10 cN ermittelt.

In einem zweiten Experiment wurden dem Probanden nach einer in der experimentellen Psychologie häufig angewandten Methode definierte Kraftreize vorgegeben.

Die Kraftanstiegsgeschwindigkeit lag hier bei 12 bis 24 cN/sec. Die Kraft wurde dann solange stufenweise erhöht bzw. erniedrigt bis der Proband gerade bzw. gerade noch eine Empfindung hatte. Dieser Kraftwert wurde als Schwelle definiert. Die Abstände zwischen den einzelnen Reizen betrugen bei diesen und anderen Experimenten 2 - 5 sec. Die Reizung bei verschiedenen Kraftanstiegsgeschwindigkeiten ergab teilweise eine Erniedrigung der Empfindungsschwelle bei höherer Anstiegsgeschwindigkeit. Dies widerspricht den Ergebnissen der Arbeitsgruppe Mühlbradt. Steenberghe versucht dies so zu erklären, daß der Druck in einem visko - elastischen System bei höherer Anstiegsgeschwindigkeit schneller ansteigt (71).

Steenberghe und de Vries kommen, wie Mühlbradt und Jenz zu dem Schluß, daß auf Grund der Schwankungen der Empfindungsschwelle beim gleichen Individuum ein sensibles Intervall bzw. ein Band existiert und die Schwelle, abhängig von Verfassung und Konzentration des Probanden in diesem Band weiter oben oder weiter unten liegt.

In der Literatur fanden sich, außer den Andeutungen Haraldsons (19), keine Hinweise auf Sensibilitätsmessungen an Implantaten. Nach Haraldson waren bei Patienten, bei denen sämtliche Ober- und Unterkieferzähne durch mehrere enossale Implantate ersetzt worden waren, keine Störungen der Kaufunktion durch eine veränderte taktile Sensibilität aufgefallen. Es wurde nicht erwähnt, ob diese klinischen Beobachtungen durch entsprechende Messungen überprüft worden waren.

2.1.4 Zusammenfassung

Die taktile Sensibilität der Zähne unterliegt offensichtlich beträchtlichen interindividuellen Schwankungen. Außerdem ist sie abhängig vom Zustand des Parodontiums. Die Messungen sind immer vom physischen und psychischen Zustand des Probanden abhängig. Dies äußert sich in mehr oder weniger großen Schwankungen der Einzelwerte. Bei der taktilen Schwelle scheint es sich um ein sensibles Intervall zu handeln, das je nach Meßmethode im Bereich von wenigen Centinewton liegt.

2.2 DAS TÜBINGER IMPLANTAT

2.2.1 Entwicklung

In den 30er Jahren wurde die Aluminiumoxidkeramik erstmals für Implantatzwecke vorgeschlagen und S.Sandhaus plädierte 1965 als erster für eine Verwendung im zahnärztlichen Bereich (21,52).

Zu Beginn der 70er Jahre erfolgte dann die Erforschung der Werkstoffeigenschaften auf breiter wissenschaftlicher Basis (20,22,23).
Dabei zeigte sich das hohe Maß an Biokompatibilität und Bioinertheit das diesen Werkstoff auszeichnet (20,22).

1976 wurde von W.Schulte und G.Heimke das Tübinger Implantat zunächst tierexperimentell sowie anschließend klinisch erprobt (11,21,58).

2.2.2 Aufbau und Gestalt des Implantates

Das Tübinger Implantat besteht zu 99,7% aus Aluminiumoxid, das zusammen mit 0,3% Magnesiumoxid zunächst in Pulverform vorliegt. Unter hohem Druck und bei Temperaturen von 1600 - 1800 Grad Celsius werden diese Werkstoffe dann zur endgültigen Form dichtgesintert. Es entsteht dabei ein Festkörper aus 3 - 5 µm großen Korundkristallen. Der kristalline Aufbau eines Korunds ist mit dem des Saphirs und Rubins identisch (21).

Tierexperimentelle Untersuchungen für die Anwendung in der Hüftgelenksendoprothetik führten zu der Erkenntnis, daß über dieses Material auch Druckkräfte in den umgebenden Knochen eingeleitet werden können, sofern

gewisse biophysikalische Gesichtspunkte beachtet werden.
Im Jahr 1980 führten wir rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen am Tübinger Implantat durch, um genauere Erkenntnisse über die Mikrostruktur seiner Oberfläche zu gewinnen (s.Abbn.3 - 6 S.20 - 23).

Die Aufnahmen erfolgten am Rasterelektronenmikroskop der Abteilung Theoretische Physik der Universität Tübingen. Die Abbildungen zeigen die Oberfläche in verschiedenen Vergrößerungen. Der Vergrößerungsmaßstab ist jeweils am unteren Bildrand durch Markierungen angegeben. Neben der lakunären Oberflächenstruktur erkennt man bei stärkerer Vergrößerung (s.Abb.6 S.23) die rauhe Oberfläche, hervorgerufen durch die einzelnen Korundkristalle der Aluminiumoxidkeramik.

Das Tübinger Implantat gehört zur Gruppe der enossalen Implantate. Es besteht also ein direkter Kontakt des Knochens mit der Aluminiumoxidkeramik, der sich mikroskopisch so darstellt, daß auch Markräume direkten Fremdkörperkontakt haben. Weder in diesen noch im Knochen fanden sich irgendwelche Anzeichen für entzündliche Reaktionen oder die Ausbildung von Fremdkörpergranulationsgewebe. Der Implantatwerkstoff wird also vom Körper nicht demarkiert, vielmehr erfolgt eine echte Integration.
Dabei ist man sich bewußt, daß durch das Implantat eine dauernde Unterbrechung der ektodermalen Integrität beim Implantatträger hervorgerufen wird.

Die äußere Gestaltung des Implantates als Stufenzylinder mit seiner lakunär strukturierten Oberfläche schafft die nötigen Voraussetzungen für eine nahezu ideale Lastverteilung und Lasteinleitung in den Knochen. Nach Heimke (21) ist ein äußerst dichtes Heranwachsen lamellär trajektoriell orientierter

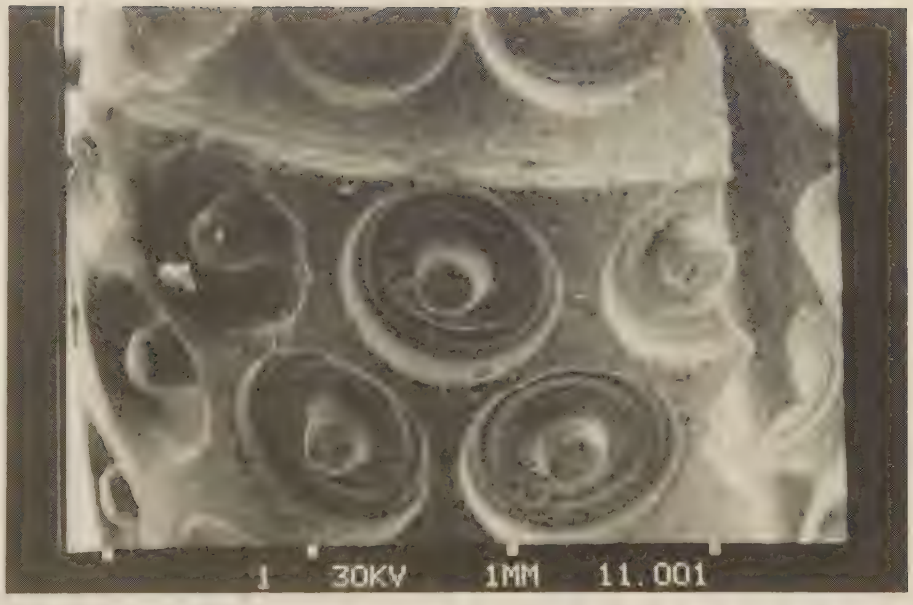


Abb. 3: REM - Aufnahme der Implantatoberfläche. Der Abstand zwischen den Markierungen am Bildrand entspricht 1 mm. Im oberen Bildabschnitt ist eine zirkuläre Stufe sichtbar, außerdem zahlreiche Lakunen.

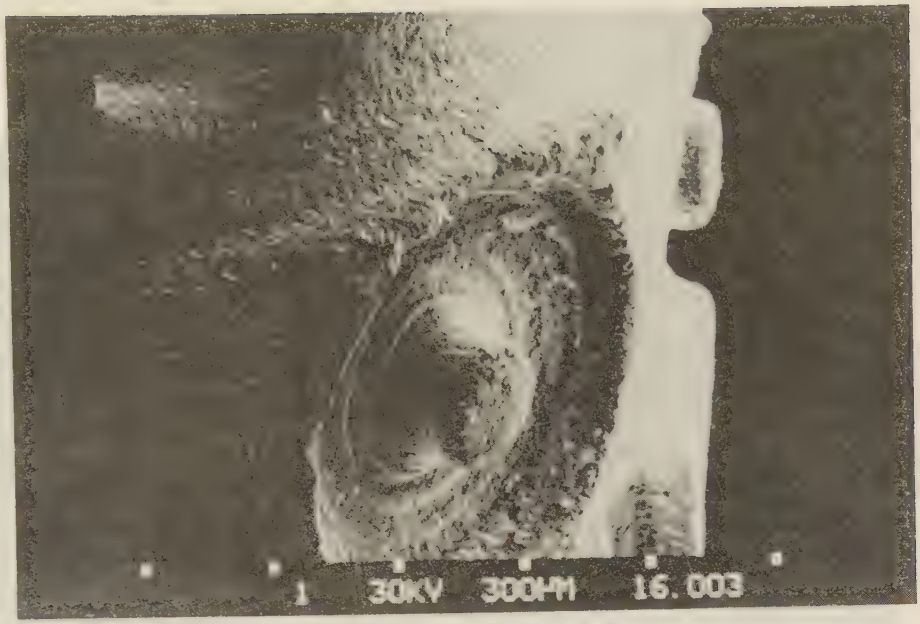


Abb. 4: REM - Aufnahme der Implantatoberfläche. Der Abstand zwischen den Markierungen am Bildrand entspricht 300 µm. Im oberen Bildabschnitt ist eine zirkuläre Stufe sichtbar, darüber und darunter einzelne Lakunen.

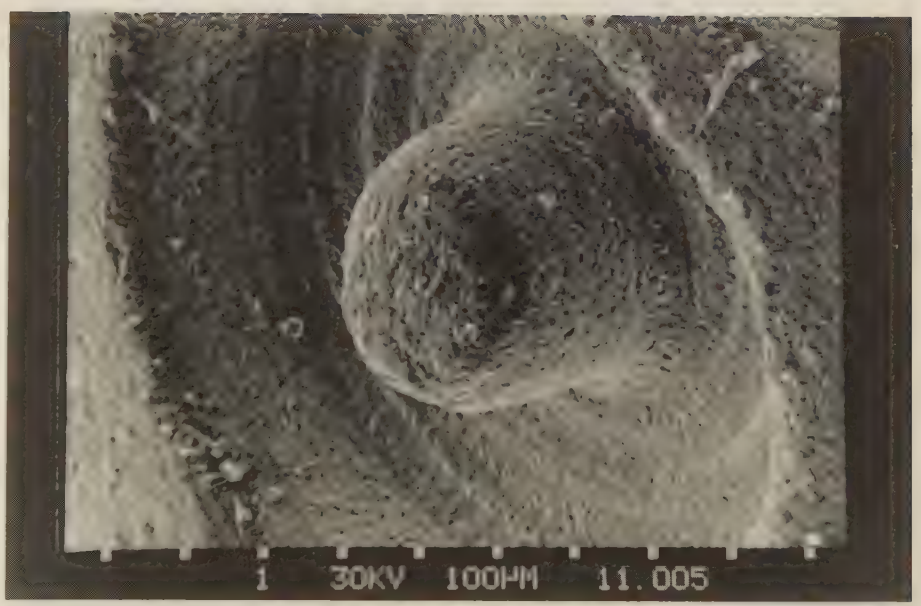


Abb. 5: REM - Aufnahme der Implantatoberfläche. Der Abstand zwischen den Markierungen am Bildrand entspricht 100 µm. Darstellung einer Lakune mit zentralem Zapfen.

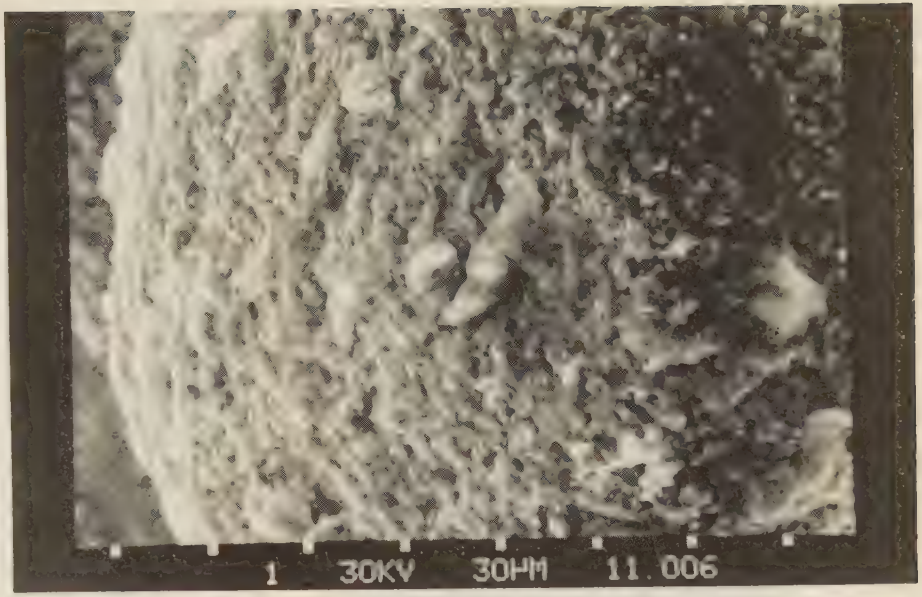


Abb. 6: REM - Aufnahme der Implantatoberfläche. Der Abstand zwischen den Markierungen entspricht 30 µm. Darstellung der Oberflächenstruktur eines Zapfens. Die rauhe Oberfläche wird durch die einzelnen Korundkristalle hervorgerufen.

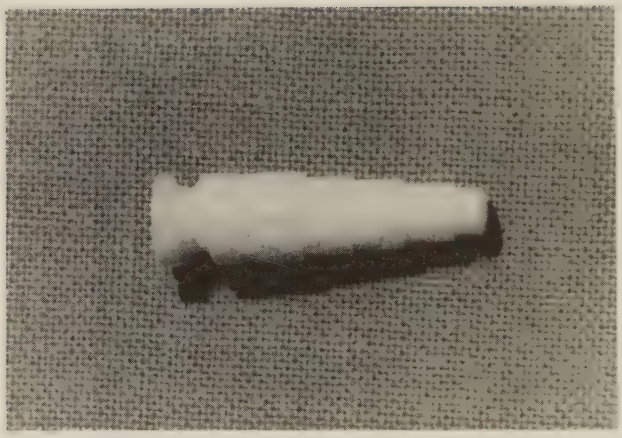


Abb. 7: Tübinger Implantat. Deutlich sichtbar sind die Stufen, außerdem die lakunäre Oberflächenstruktur. Unterhalb des Tellers erkennt man die Rille, in die sich nach der Implantation die Gingiva einlagert.

Knochenstrukturen an die Keramikoberflächen vor allem dann möglich, wenn diese Flächen nur Kräfte übertragen, die genau oder beinahe genau senkrecht zur Implantatoberfläche und parallel zur Osteonrichtung orientiert sind, d.h. wenn es sich um nahezu reine Druckkräfte handelt (21,36).
Der Stufenzylinder des Implantates kommt dieser Forderung weitgehend entgegen, da eine Lasteinleitung senkrecht zur Oberfläche über die einzelnen Stufen und

über die Lakunen erfolgen kann. Sowohl vertikale Kräfte, (in Richtung der Implantatlängsachse) als auch horizontale Kräfte wirken als reine Druckkräfte auf den umgebenden Knochen. Die Überlegenheit des Stufenzylinders gegenüber anderen Implantatformen konnte durch spannungsoptische Untersuchungen gezeigt werden (59,72).

Um einer mechanischen Schädigung der marginalen Gingiva vorzubeugen und gleichzeitig eine möglichst optimale Epithelanlagerung zu erzielen, wurde in das Implantat eine zirkuläre Rille eingearbeitet (s.Abb.7 S.24), in die sich nach der Implantation die marginale Gingiva einlagern kann (59).

Zur Reduktion der Druckkräfte bei normaler Belastung wurde die Implantatoberfläche gegenüber der Wurzeloberfläche des zu ersetzenden Zahns so weit wie möglich vergrößert (s.Abb.8 S.26). Neben der lakunären Struktur des Stufenzylinders wird dies auch durch die Korundkristalle unterstützt, die, zusammengesintert eine rauhe Oberfläche bilden.

2.2.3 Grundlagen der Implantationstechnik

Die wichtigsten Punkte der Implantationstechnik werden nachfolgend erläutert (61):

Der Eingriff wird in Lokalanästhesie durchgeführt. Dient das Implantat als Sofortersatz, werden bei dem zu entfernenden Zahn mit dem Periotom, nach der Mobilisation der marginalen Gingiva, die parodontalen Fasern scharf durchtrennt. Dann erfolgt eine schonende Extraktion, d.h. möglichst ohne Schädigung der marginalen Gingiva oder Fraktur der knöchernen Alveole. Dannach wird das Implantatbett mittels spezieller

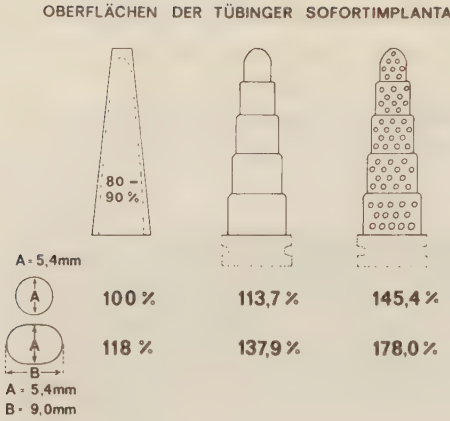


Abb. 8: Darstellung des Prinzips der Oberflächenvergrößerung. 80 - 90% entsprechen der Oberfläche der natürlichen Zahnwurzel. 145 - 178% entsprechen der lakunären Implantatoberfläche beim runden bzw. ovalen Implantat.

Normbohrer unter sorgfältiger Kühlung aufbereitet. Nach einer gründlichen Säuberung durch Spülung mit physiologischer Kochsalzlösung wird der Aluminiumoxidstufenzylinder eingepaßt und mit leichten Klopfschlägen im umgebenden Knochen verkeilt. Wichtig ist dabei, daß die Bohrung so angelegt wurde, daß sich die marginale Gingiva zirkulär in die Rille einlagern kann. Außerdem sollte die knöcherne Alveole möglichst vollständig erhalten geblieben sein. Durch das Einklopfen sollte eine primäre Festigkeit erzielt werden, falls nicht, wurden bei der Implantation Fehler gemacht (63).

2.2.4 Pathophysiologie der Einheilung

Die Schonung des Implantates während der ersten Wochen ergibt sich aus dem Ablauf des Heilungsprozesses, der mit dem bei der Frakturheilung verglichen werden kann. Ohne Schonung während der Einheilungsphase besteht die Gefahr, daß das zwischen Implantat und Knochen befindliche dünne Blutkoagulum im Sinne einer Pseudarthrose bindegewebig umgebaut wird.

Der Patient trägt zu diesem Zweck während der ersten 3 - 4 Monate eine Miniplastschiene, die das Implantat vor schädlichen Belastungen schützt.

Die primäre Festigkeit führt in Verbindung mit der Immobilisation und dem Belastungsschutz zu einer Ossifikation des periimplantären Raumes. Dieser Heilungsprozeß kann mit dem der primären Knochenheilung bei der Druckplattenosteosynthese verglichen werden (39,53). Daraus resultiert eine ankylotische Verankerung des Implantatkörpers im Knochen.

2.2.5 Histologie und Pathophysiologie der periimplantären Grenzschicht

Im Lakunenbereich wurde bei der histologischen Auswertung tierexperimenteller Studien bei belasteten Implantaten ein sogenanntes Lastlinienschattenphänomen beobachtet. Es besteht darin, daß in den Lakunen an den Stellen, die bei Vertikalbelastung Druck übertragen, vermehrt Knochenbälkchen gefunden werden, die das Implantat wie Streben stützen, während der übrige Lakunenbereich teilweise von Binde- bzw. Markgewebe durchwachsen ist (36).

Möglicherweise spielen bei der Ausbildung des Lastlinienschattenphänomens die piezoelektrischen

Eigenschaften des Knochens eine Rolle. Shamos (68) berichtet über eine maximale elektrische Polarisation des Knochens bei einem Winkel von 45 Grad zwischen Kraftrichtung und der Achse der kollagenen Faserbündel. Dieser Effekt wurde nur im organischen Anteil des Knochens und der Sehnen beobachtet. Die Polarität war bei Umkehr der Kraftrichtung umkehrbar. Die Polarisation erhöhte sich linear mit dem Anstieg der Kraft. Shamos führt diese Eigenschaft des Knochens darauf zurück, daß durch die eingeleiteten Kräfte zwischen den einzelnen Faserbündeln Verschiebungen auftreten und dadurch Veränderungen der Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Bündeln.

Nach Epker und Frost (10) könnten Verbiegungen und Verschiebungen der Faserbündel über den piezo - - elektrischen Effekt als biologisches Signal wirken und die Aktivität von Osteoblasten und Osteoklasten beeinflußen. Dies könnte dann auf der konkav deformierten Seite zu einem Knochenanbau und auf der konvex deformierten Seite zu einem Abbau führen.

Während der Einheilungsphase, innerhalb der ersten drei Monate darf das Implantat nicht belastet werden, um ein Einwachsen des Knochens in die Implantatlakunen zu ermöglichen.

Anschließend kann man sich dann unter funktioneller Belastung durch die geschilderten Vorgänge einen strukturellen Umbau des Implantatlagers vorstellen, sodaß histologisch das Bild des sog. Lastlinienschattenphänomens entsteht.

2.2.6 Grundlagen der prothetischen Versorgung

Wichtig für den Langzeiterfolg eines Implantates ist auch die Suprakonstruktion (bspw. Stiftaufbau und

Krone), die an die veränderten funktionellen Verhältnisse angepaßt werden muß. So sollte sich die Implantatkrone vestibulär - oral in die allgemeine Kronenflucht einfügen, um beim Implantatträger keine Zungen - oder Lippenparafunktionen zu provozieren. Auch darf die Implantatkrone keine Suprakontakte aufweisen oder gar zu einem Gleithindernis werden.

Nach den Untersuchungen von Ney und Lukas (47) wissen wir, daß sich das Intrusionsverhalten des Implantates entsprechend der enossalen Verankerung am mechanisch - elastischen Verhalten des Kieferknochens orientiert. So ist die Intrusion eines Implantates verglichen mit dem natürlichen Zahn ca. 10x geringer.

Die Suprakonstruktion muß daher so eingeschliffen werden, daß erst unter funktioneller Belastung gleichmäßige Kontakte, sowohl am Implantat, als auch an den Nachbarzähnen entstehen. Andernfalls würde unter funktioneller Belastung im Bereich der Implantatkrone ein Suprakontakt entstehen.

Ähnlich wie bei der Intrusion ist auch das Bewegungsverhalten des Implantates von dem des natürlichen Zahns grundsätzlich verschieden. Während der natürliche Zahn auf eine Stoßanregung, aufgrund seines Parodonts mit einer stark gedämpften Schwingung antwortet, zeigt das Implantat nur ein schwach gedämpftes Schwingungsverhalten. Dies ist auf die vorwiegend elastischen Eigenschaften des Kieferknochens zurückzuführen (54).
Hierin sehen wir einen weiteren Beweis für den innigen Kontakt zwischen Knochen und Implantat.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 PROBLEMSTELLUNG

Die vorgelegten Untersuchungen sollen einen ersten Beitrag zur Frage der neurophysiologischen Inkorporation der Tübinger Implantate liefern.

Durch Messung der taktilen Sensibilität am natürlichen Vergleichszahn und am Implantat sollen exaktere Vorstellungen über die Qualität und Intensität von Empfindungen am enossalen Implantat gewonnen werden.

Von Interesse ist auch die Frage, ob die Pressosensoren der marginalen Gingiva in der Lage sind, die Funktion parodontaler Mechanorezeptoren ersatzweise zu übernehmen.

Die subjektive Einstellung des Patienten zu einem Implantat im oralen Bereich kann durch Messungen allerdings nicht ausreichend dokumentiert werden. Durch eine Umfrage wollten wir dazu zusätzliche Informationen gewinnen.

3.2 MATERIAL UND METHODEN

Ein Meßsystem für Tastsensibilitätsmessungen an Zähnen und Implantaten sollte gewissen Anforderungen genügen, die Jenz (26) so formulierte:

- problemlose Handhabung
- prellfreies Aufsetzen des Kraftfühlers
- Ausgleich physiologisch bedingter Kopfbewegungen
- einstellbare lineare Kraftanstiegsgeschwindigkeit
- elektronisch exakte kalibrierbare Kraftmessung

Tabelle 1: SCHEMATISCHE GLIEDERUNG DES MEßSYSTEMS

1. Kraftgeber (Motor und Präzisionsgetriebe)

2. Kraftfühler (Drehschwinger)

3. Meßobjekt (Zahnkrone bzw. Implantat mit Aufbau)

4. Meßwerteverarbeitung und -aufzeichnung

Bei Messungen an Implantaten wird diese Liste durch folgende Anforderung ergänzt:

- keine Gefährdung oder Schädigung des Implantates

Darüberhinaus sollten bei Empfindungsmessungen noch weitere Voraussetzungen erfüllt sein:

- Interesse und Motivation des Patienten sollten vorhanden sein
- der Patient sollte entspannt und ausgeruht sein
- die Messung sollte in einem ruhigen Raum stattfinden.

Zur Messung der taktilen Sensibilität von Implantaten und natürlichen Vergleichszähnen verwendeten wir das von Mühlbradt und Lukas entwickelte Meßsystem, das schon Jenz (26), Herholz (24) und Ackermann (1) zu Tastsensibilitätsmessungen benutzt hatten. Es wurde gemäß den Anforderungen unserer speziellen Fragestellung modifiziert. Im wesentlichen besteht es aus 4 Komponenten (s.Abbn.9 - 15 S.34ff. und Tab.1 S.31)

3.2.1 Der Kraftgeber

Für die Güte einer Sensibilitätsmessung ist es entscheidend, den betreffenden Zahn, bzw. das Implantat möglichst ruckfrei mit linearem Kraftanstieg belasten zu können.

Um diesem Ziel möglichst nahe zu kommen, verwendeten wir einen Elektromotor <1> mit Präzisionsgetriebe, durch den eine kugelgelagerte Magnetbandrolle angetrieben wurde.(s.Abb.10 S.35)

<1> Getriebemotor der Fa. Zoeller

Der Elektromotor wurde mit dem Getriebe und der Bandrolle auf einer horizontal verschieblichen kugelgelagerten Schiene befestigt, um ihn optimal an den darunter sitzenden Patienten adaptieren zu können und einen möglichst vertikalen Bandzug zu gewährleisten. Die Schiene war an einen waagerechten Balken montiert.

Im Gegensatz zu früheren Messungen verwendeten wir Magnetband, das bei der Herstellung vorgereckt wird und so im Vergleich zum Zwirnfaden einen gleichmäßigeren Zug, d.h. einen Kraftanstieg mit größerer Linearität garantiert. Diesem Zweck diente auch die Kugellagerung der Bandrolle.
An dem Magnetband war über eine lose Rolle eine Präzisionsfeder angehängt, in die zur Messung der Meßarm des Kraftfühlers eingehängt wurde. Die Zwischenschaltung dieser Zugfeder diente ebenfalls der ruck- und prellfreien Kraftübertragung. Darüberhinaus sollten dadurch auch mögliche spontane Kopfbewegungen des Patienten ausgeglichen werden.
Durch die lose Rolle halbierte sich die Geschwindigkeit des Bandzuges. Diese ist von der Umdrehungszahl der Magnetbandrolle, also letztendlich von der Umdrehungszahl des Elektromotors abhängig. Sie konnte durch die Gleichstromregelung des Motors eingestellt werden.

Die mechanischen Eigenschaften der Zugfeder (Hooksche Federkonstante) bestimmen neben der Umdrehungszahl des Elektromotors die Kraftanstiegsgeschwindigkeit am Zahn. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, hielten wir es für erforderlich, immer mit derselben Feder zu messen <1>. Es war nicht einfach eine Feder zu finden, die sowohl für Messungen am natürlichen Zahn, als auch am Implantat verwendet werden konnte.

<1> Präzisionsfeder der Fa. Wiedenhöfer

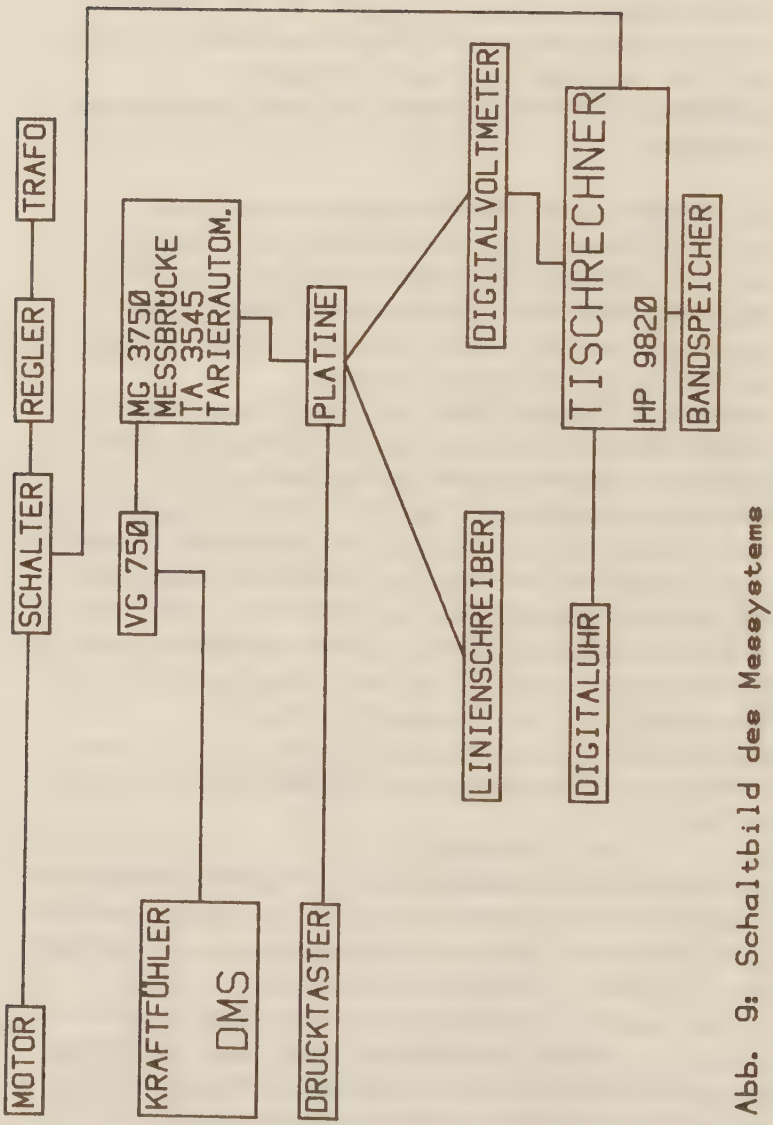


Abb. 9: Schaltbild des Messsystems

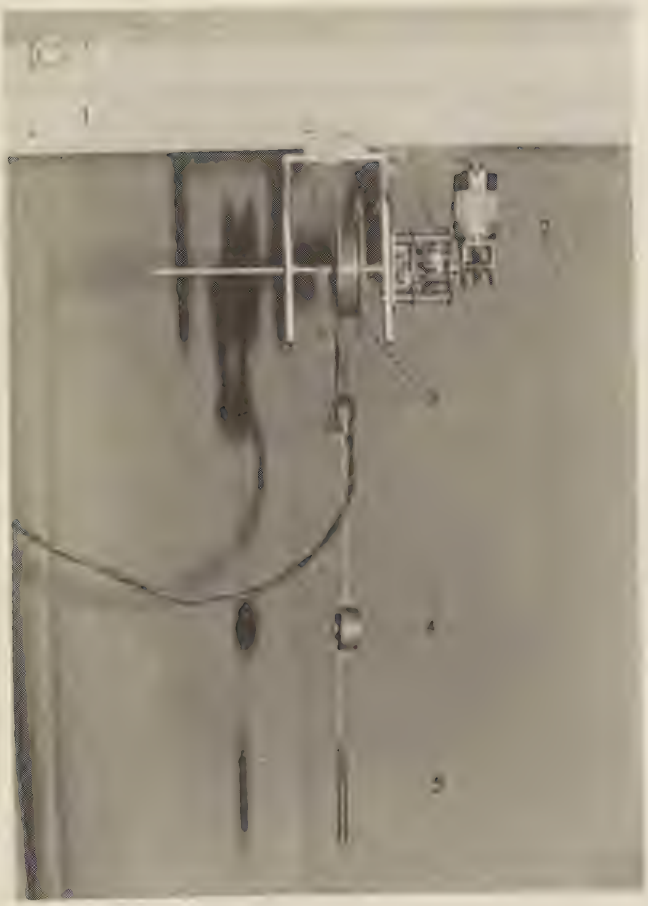


Abb. 10: Die Kraftgeber - Einheit:

1) kugelgelagerte Schiene
2) Elektromotor mit Präzisionsgetriebe
3) Magnetbandrolle
4) Vorlast
5) Präzisionsfeder

Abb. 11: Der Kraftfühler mit angehängtem Kalibriergewicht. Auf dem Tisch befinden sich außerdem das Vorschaltgerät VG 150 und der Drucktaster.

Nach entsprechenden Vorversuchen wurde daher eine Präzisionsfeder ausgewählt, die für sämtliche Messungen geeignet war, d.h. die Kraftanstiegsgeschwindigkeit wurde nur über den Stromregler am Elektromotor gesteuert.

3.2.2 Der Kraftfühler

Zentrales Element des ganzen Systems ist der von Lukas und Mühlbradt entwickelte federgefesselte Drehschwinger, der mit seinen Dehnmeßstreifen (DMS) <1> als Kraftfühler diente (s.Abbn. 11,12 S.36,39) und über den auch die Kräfte eingeleitet wurden. Die Krafteinleitung führte zu einer mechanischen Verbiegung am Fühlerende. Die aufgeklebten DMS wurden dabei mitdeformiert. Aus dieser Verbiegung resultierte eine Widerstandsänderung in den Dehnmeßstreifen.

Für ein prellfreies Aufsetzen auf dem Zahn, bzw. dem Implantat wurde am Ende des Meßarms ein Schaumstoffpellet aufgeklebt. Unterschiedliche Ergebnisse durch Veränderungen des Hebelarmes wurden durch eine Markierungsrille am Fühlerende ausgeschlossen. Sie diente auch als Orientierung beim Anhängen des Kalibriergewichtes.

3.2.3 Verarbeitung und Aufzeichnung der Meßwerte

Die beiden Dehnmeßstreifen waren unter Zwischenschaltung eines Trenntransformators <2> mit einer Wheatstoneschen Brückenschaltung verbunden. Sie

---

<1> DMS Typ BLY 41 der Fa. Hottinger - Baldwin Meßtechnik (HBM)

<2> VG 750, Fa. Hottinger-Baldwin Meßtechnik (HBM)

wurden von einem 5 KHZ - Trägerfrequenzmeßverstärker <1> gespeist. Der Nullabgleich der Meßbrücke erfolgte mittels einer Tarierautomatik <2>. Die steigende Kraft führte über eine Widerstandsänderung der DMS zur Spannungsänderung in der Brücke.

Nach einer Signalverstärkung wurden die Spannungsänderungen analog durch einen Mehrkanalschreiber <3,4> aufgezeichnet und gleichzeitig in einem Digitalvoltmeter <5> umgewandelt. Die digitalen Impulse wurden dann an einen Tischrechner (Modell 9820 der Firma Hewlett - Packard) weitergeleitet. Der Patient betätigte beim Erreichen der Empfindungsschwelle einen Drucktaster der den Ausgang des Meßverstärkers auf Null zurückführte. Dies wurde im Schreiber ausgeschrieben (s.Abb. 15 S.42). Gleichzeitig wurde im Tischrechner der zuletzt ermittelte Kraftwert zusammen mit den Impulsen einer netzfrequenzabhängigen Digitaluhr gespeichert und ausgedruckt. Die Speicherung erfolgte auf Magnetband-kassette.

Die Zwischenschaltung des Trenntrafos war nach der VDE - Vorschrift 750 über elektrische Messungen am Menschen und in Körperhöhlen erforderlich. Damit wurde die effektive Spannung, die bei der Messung an der Versuchsperson anlag, auf max. 6 V begrenzt.
Vor jeder Meßreihe wurde durch Anhängen eines Gewichts mit 50 g Masse an den Meßarm des Kraftfühlers eine Kalibrierung vorgenommen. Die Kraftanstiegs-geschwindigkeit wurde nach entsprechenden

---

<1> MG 3170,Fa. Hottinger-Baldwin Meßtechnik (HBM)
<2> TA 3545,Fa. Hottinger-Baldwin Meßtechnik (HBM)
<3> Minigor Typ RE 501, Fa. Metrawatt
<4> MC 611, Fa. Watanabe
<5> S 2000 G, Fa. Hartmann und Braun

Abb. 12: Hier ist die Situation während einer Messung dargestellt. Man erkennt das Fühlerende des Drehschwingers, das nun an die Präzisionsfeder angehängt ist. Der Kopf der Patientin ist im Nacken abgestützt. In ihrer rechten Hand hält sie den Drucktaster.

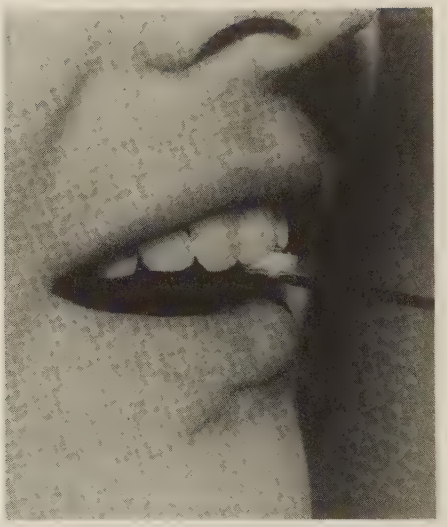


Abb.13: Der Kraftfühler in situ. Zwischen der Schneidekante und dem Fühler ist das aufgeklebte Schaumstoffpellet zu sehen.

Vorversuchen konstant gehalten. Sie wurde während der Messung vom Computer errechnet und anschließend mit ausgedruckt. Vor und nach jeder Einzelmessung wurden vom Rechner mehrere Werte erfaßt, deren Mittelwert als Nullwert gespeichert wurde. Nach Abschluß der Einzelmessung wurde dann auch die Nullwertänderung angegeben.

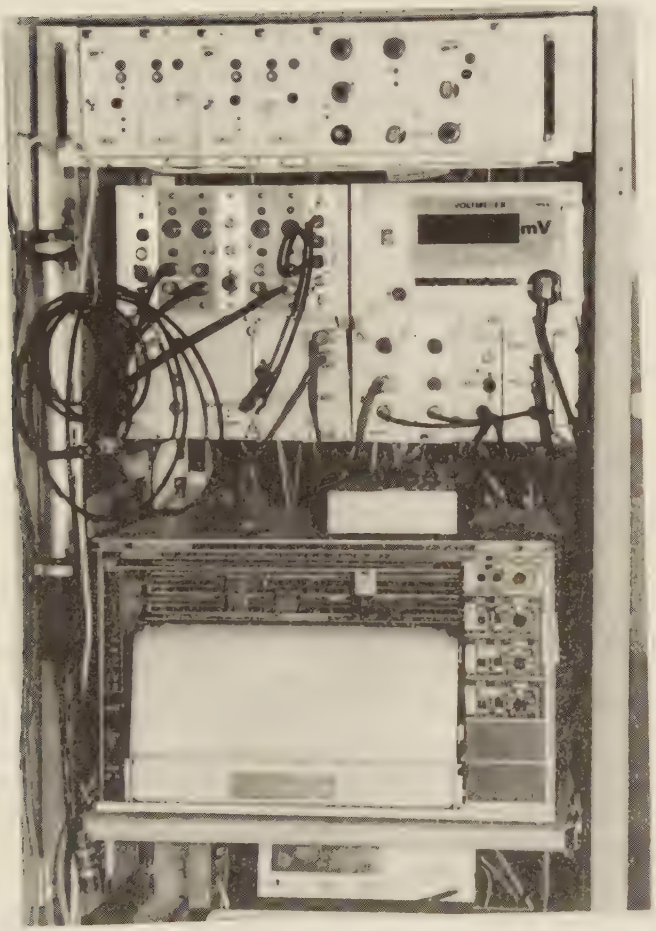


Abb. 14: Die Einheiten zur Meßwerteaufzeichnung. In der obersten Reihe ist mit der Aufschrift "Tast" die Meßbrücke mit Abgleich sichtbar, darunter dann das Digitalvoltmeter und ganz unten der Mehrkanalschreiber.

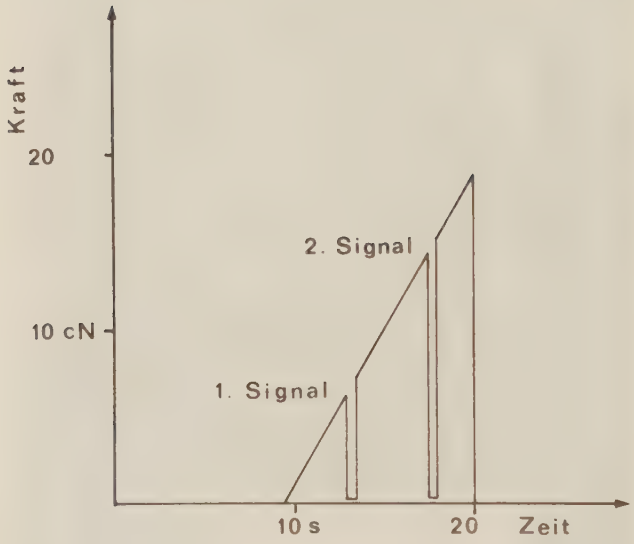


Abb. 15: Umgezeichnetes Diagramm einer Einzelmessung, wie es vom Mehrkanalschreiber erstellt wurde. Auf der Ordinate sind die Kraft- und auf der Abszisse die Zeitwerte aufgetragen. Das erste Signal entspricht dem Kraftwert der Berührungsempfindung, das zweite dem Kraftwert der Druckempfindung. Die Signale wurden durch Betätigung des Drucktasters ausgelöst.

3.2.4 Patientenauswahl

Für die Messungen wurden Implantatträger(innen) ausgewählt, die sich zu dem betreffenden Zeitpunkt gerade zu Nachkontrollen in der Klinik aufhielten. War das Implantat prothetisch versorgt, so wurden nur dann Messungen durchgeführt, wenn sich die Approximalkontakte der Implantatkrone mit einem Zellophanstreifen gut separieren ließen. Verblockte oder in Brückenverbände integrierte Implantate wurden nicht gemessen. Diesselben Kriterien wurden auch bei den natürlichen Vergleichszähnen zugrundegelegt. Es wurden nur solche Implantate gemessen, die klinisch und röntgenologisch unauffällig waren und keine Lockerung zeigten.

3.2.5 Die Meßobjekte

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden die Kräfte, gemäß der Konstruktion des Meßsystems, nur in Zähne und Implantate im Oberkiefer eingeleitet. Es wurden ausschließlich Frontzähne, bzw. Frontzahnimplantate und Pämolaren, bzw. Prämolarenimplantate gemessen. Dazu wurde der horizontal eingestellte Meßarm des Kraftfühlers dicht unterhalb der Schneidekante, bzw. der Höckerspitze positioniert. Um den Zahn bzw. das Implantat möglichst in Richtung seiner Längsachse zu belasten, war zuvor der Kopf des Patienten mit Hilfe der Nackenstütze in einer entsprechenden Stellung fixiert worden.

3.2.6 Gliederung des zeitlichen Ablaufs

Sofern es für die Patienten zeitlich möglich war, wurde in 3 Etappen gemessen:

a) der natürliche Vergleichszahn
b) das Implantat
c) das Implantat nach Anästhesie der marginalen Gingiva mit einem Oberflächenanästhetikum

Es erwies sich als sinnvoll zunächst Messungen am natürlichen Vergleichszahn durchzuführen, da dort die taktile Schwelle für den Patienten leichter zu finden war. Um Lerneffekte, wie sie Jenz (26) beschrieb, auszugleichen wurden die Ergebnisse der ersten Einzelmessung grundsätzlich nicht erfaßt.

Es wurde außerdem versucht Ermüdungserscheinungen dadurch zu umgehen, daß maximal 10 Einzelmessungen pro Teilbereich durchgeführt wurden.

Zwischen 2 Einzelmessungen lag jeweils eine Pause von 30 - 60 Sekunden.

Grundsätzlich wurden alle Messungen bei einer Kraftanstiegsgeschwindigkeit von ca. 2 cN/sec durchgeführt. In besonderen Einzelfällen wurde für Sensibilitätsmessungen an den Implantaten eine doppelt so große Anstiegsgeschwindigkeit von 4 cN/sec eingestellt, weil die allmählich einsetzende Empfindung manchen Patienten erhebliche Schwierigkeiten bereitete.

Durch Messung der Empfindungsschwelle beim Implantat nach vorhergehender Oberflächenanästhesie der marginalen Gingiva sollten die Einflüsse gingivaler Rezeptoren auf die taktile Sensibilität des Implantates bestimmt werden. Dazu wurde mit einem Wattepellet ein entsprechendes Anästhetikum auf die marginale Gingiva des Implantates aufgetragen. Wir verwendeten dafür Legecain oder Gingicain, weil ersteres nach Hund (25) nur eine geringe Tiefenwirkung besizt und nur gingivale Rezeptoren ausgeschaltet werden sollten.

Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch ungenügende Anästhesietiefe auszuschließen, wurde auch Gingicain eingesetzt, da es nach den Ergebnissen von Hund die 3 - - fache Eindringtiefe von Legecain besitzt.

3.2.7 Ablauf einer Einzelmessung

Der Patient saß während der Messung mit abgestütztem Kopf in einem zahnärztlichen Behandlungsstuhl.

Unter Berücksichtigung der Meßergebnisse von Jenz (26) und Ackermann (1), die übereinstimmend bei der taktilen Sensibiliät von einem sensorischen Intervall berichteten, wurde auch bei unseren Messungen so differenziert, daß zunächst nur eine Berührungsempfindung registriert und kurz darauf dann das Auftreten einer ersten leichten Druckempfindung festgehalten wurde.

Der Patient wurde aufgefordert einen Druckschalter kurz zu betätigen, wenn er

a) eine erste Berührungsempfindung bemerke oder
b) zum ersten Mal einen ganz leichten Druck an dem

entsprechenden Zahn bzw. dem Implantat verspüre.

Nach der Kalibrierung wurde der Kraftfühler mit seinem Ende an die Schneidekante des zu messenden Zahns herangeführt und in einem rechten Winkel zur Zahnlängsachse justiert. Der weitere Messungsverlauf erfolgte nun programmgesteuert vom Tischrechner aus:

Zunächst erschien auf dem Display die Angabe "Nullwert",d.h. zur Nullwertbestimmung mußte der Schalter "Nullwert" am Schaltpult gedrückt werden. Nach erfolgter Messung erschien die Anzeige "Stop",

d.h. nun mußte der Stoppschalter gedrückt werden. Danach wurde "Start..." angezeigt, nun konnte mit der Messung begonnen werden. Der Patient wurde aufgefordert die Augen zu schließen. Der Elektromotor wurde eingeschaltet, dadurch bewegte sich der Messarm des Kraftfühlers langsam nach oben und drückte mit langsam steigender Kraft gegen die Schneidekante des Zahnes, bzw. den Aufbau des Implantates. Sobald der Drucktaster vom Patient betätigt wurde, also eine Empfindung wahrgenommen worden war, wurde dies vom Schreiber als Zacke aufgezeichnet und der in diesem Moment aktuelle Kraftwert vom Rechner gespeichert. Nach der Rückstellung des Meßarms in die Ausgangsposition erfolgte, wie bereits oben beschrieben eine erneute Nullwertbestimmung, anschließend die nächste Messung.

3.2.8 Vorversuche

3.2.8.1 Prüfung der Dehnmeßstreifen

Die Präzision der Dehnmeßstreifen (DMS) wurde in einem Vorversuch durch Parallelschaltung mit einem induktiven Kraftaufnehmer mit Tauchanker und Differentialdrossel <1> überprüft. Der wesentlich schwerere und voluminösere Kraftaufnehmer (s.Abb.16 S.47) konnte nur bis zu einer Maximalbelastung von 1 N eingesetzt werden, der DMS dagegen bis zu 2 N.

In der graphischen Darstellung (s.Abb.17 S.48) ist zwischen DMS und Kraftaufnehmer kein Unterschied feststellbar.

<1> Kraftaufnehmer Q 11 Fa. Hottinger - Baldwin Meßtechnik (HBM)

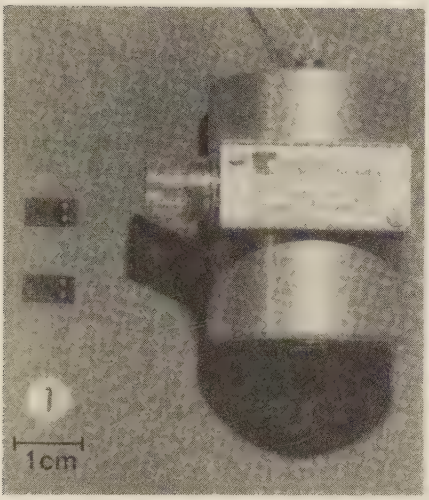


Abb.16: Die 2 verwendeten Dehnmeßstreifen und der induktive Kraftaufnehmer.
1) Dehnmeßstreifen (DMS)
2) indukt. Kraftaufnehmer

Außerdem war das Eigengewicht des Kraftaufnehmers so groß, daß eine hängende Anordnung nicht möglich war, weil dadurch schon der Meßbereich überschritten worden wäre. Der DMS war dem Kraftaufnehmer in jeder Beziehung überlegen. Wir verwendeten daher in unserem Meßsystem nur Dehnmeßstreifen.

3.2.8.2 Temporäre Implantataufbauten

Besondere Schwierigkeiten traten bei der Messung prothetisch unversorgter Implantate auf. Da in diesen Fällen nur die Oberfläche sichtbar ist,

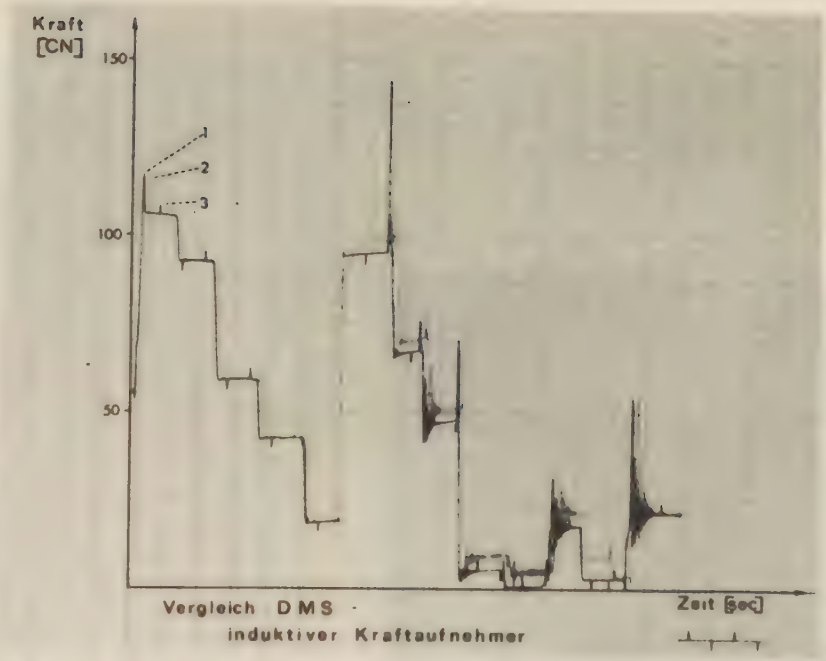


Abb. 17: Das Kraft/Zeit - Diagramm zeigt den Vergleich des Dehnmeßstreifens (DMS) mit dem induktiven Kraftaufnehmer:

1. Kurve des DMS
2. Kurve des Kraftaufnehmers
3. der Abstand zwischen 2 Spitzen auf Kurve 1 entspricht 1s.

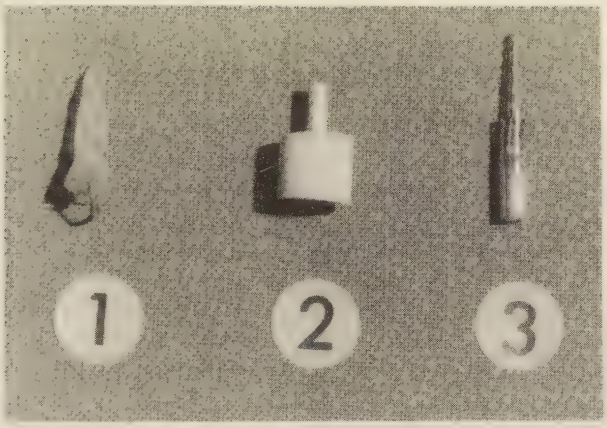


Abb.18: Verschiedene temporäre Implantataufbauten:
1) Paladurzapfen. Er wurde auf das Fühlerende des Drehschwingers aufgesteckt.
2) Silaplastaufbau. Der Zapfen wurde in die zentrale Bohrung des Implantates eingeführt.
3) Endgültiger Aufbau aus Phantommetall.

besteht die Gefahr, daß bei der Messung mit dem Kraftfühler die Nachbarzähne, bzw. die marginale Gingiva berührt werden. Dies könnte zu unkontrollierten Empfindungen führen und würde das Ergebnis verfälschen.

Daher wurde versucht durch spezielle Aufbauten die fehlende klinische Krone zu ersetzen (s.Abb.18). Dieser Aufbau mußte folgende Anforderungen erfüllen:

1. keine Schädigung des Implantates
2. schnelle einfache Befestigung und problemlose Entfernbarkeit
3. verlustfreie Kraftübertragung
4. keine Berührung der Nachbarzähne und der marginalen Gingiva
5. mehrfache Verwendbarkeit

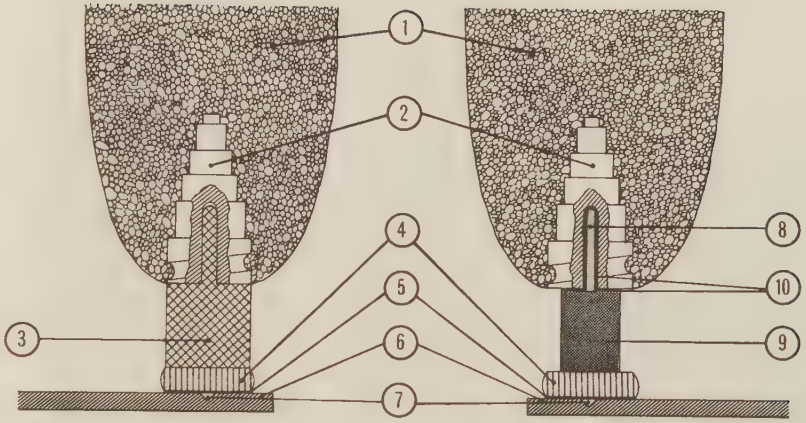


Abb. 19: Darstellung provisorischer Implantataufbauten mit aufgesetztem Ende des Kraftfühlers:

1: Paladur - Befestigung
2: Tübinger Implantat
3: Silaplast - Zylinder mit Fortsatz
4: Schaumstoff - Pellet
5: Klebstoffschicht
6: Kraftfühler
7: Markierungsrille für Kalibrierzwecke
8: angußfähiger Wurzelstift
9: angegossener Phantommetallzylinder
10: Silasoft - Zwischenschicht

Abb. 20: Das Einsetzen des silasoftbeschichteten temporären Aufbaus in ein Implantat. Es handelt sich um einen Modellversuch.

Anfangs verwendeten wir einen Paladurzapfen, der auf das Ende des Kraftfühlers aufgesteckt wurde (s.Abb.18 S.49). Insgesamt erwies sich diese Konstruktion als zu instabil, sodaß die weiteren Aufbauten im Implantat selbst verankert wurden.
Auch die Aufbauten aus Silaplast und aus anderen Kunststoffmaterialien waren ungeeignet, da sie bei der Entfernung meist zerbrachen und so die Punkte 2 und 5 des Anforderungskatalogs nicht erfüllten.

Daraufhin wurde ein Stiftaufbau aus Phantommetall hergestellt und zur besseren Retention ein Wurzelstift angegossen. Für die Dauer der Messung wurde dieser Aufbau von einer dünnen Silasoft - Schicht im Wurzelkanal des Implantates gehalten (s.Abbn.18-20 S.49ff.). Die Entfernung dieses Aufbaus war völlig unproblematisch.

Messungen am Phantom mit und ohne Aufbau ergaben keinerlei Unterschiede bei der Krafteinleitung. Die dünne Silasoft - Schicht führte in keinem Fall zu einer Verzögerung der Krafteinleitung, da der Stiftaufbau unmittelbar nach dem Einsetzen mit leichtem Druck belastet wurde und so immer an mehreren Stellen ein direkter Kontakt zwischen Implantat und Stiftaufbau garantiert war.

Daher dürften vom Aufbau her keine Einflüsse auf die Ergebnisse zu erwarten sein. Er erfüllte alle Bedingungen des Anforderungskataloges.

3.2.9 Fehlerbetrachtung des Meßsystems

Da es nicht möglich ist die exakte Fehlerzusammensetzung festzustellen, ist von dem ungünstigsten Fall auszugehen. Der Gesamtfehler ist dabei die Summe aller Einzelfehler.

$$F(ges) = F(1) + F(2) + F(3) \ldots + F(n)$$

Wie schon von Ackermann (37) beschrieben wurde, setzt sich der Gesamtfehler bei dem vorliegenden Meßsystem aus den Linearitätsfehlern des Kraftfühlers (F1) des Meßverstärkers (F2) des Linienschreibers (F3) und des Digitalvoltmeters (F4) zusammen. Somit besteht der Gesamtfehler aus der Summe von:

$$F(ges) = F(1) + F(2) + F(3) + F(4) + F(5)$$

F(4) und F(5) sind im vorliegenden Meßsystem so klein, daß sie vernachlässigt werden können. Aufgrund der Datenbeschreibung der Geräte ergibt sich für den Gesamtfehler dann folgende Gleichung:

$$F(ges) = (+/- 0{,}1\%) + (+/- 0{,}15\%) + (+/- 0{,}3\%)$$

$$F(ges) = +/- 0{,}55\% \text{ des Vollausschlags}$$

Dies bedeutet, die Fehler des Meßsystems sind so klein, daß sie im Verhältnis zu den Fehlern, hervorgerufen durch individuelle subjektive Schwankungen nicht ins Gewicht fallen. Sie spielen also bei der Ergebnisbetrachtung keine Rolle und können vernachlässigt werden.

3.2.10 Methode der Umfragen

Der subjektive Charakter von Empfindungen kann durch einen Meßvorgang nur teilweise erfaßt werden. Daher wurden von uns alle Patienten, deren Implantat länger als 6 Monate eingesetzt war und funktionell belastet wurde, gebeten, einen entsprechenden Fragebogen auszufüllen (s. S.55, 56).

Im ersten Teil dieses Fragebogens interessierte uns, außer Angaben über Gewöhnungsschwierigkeiten und Schmerzen nach der Operation, vor allem die Frage nach möglichen Mißempfindungen und der Existenz eines sog. Fremdkörpergefühls. Gerade solche Empfindungen können dazu führen, daß ein Patient sein Implantat ablehnt. Außerdem besteht die Gefahr, daß durch Mißempfindungen Lippen- und Zungenparafunktionen ausgelöst werden, die wenn sie ins Unterbewußtsein abgleiten, schließlich zum Implantatverlust führen können.

Der zweite Abschnitt des Fragebogens befaßte sich mit den Beziehungen zwischen Empfindung und funktioneller bzw. parafunktioneller Belastung.
Es ist durchaus möglich, daß ein Implantat erst unter der Kaubelastung Mißempfindungen oder Schmerzen verursacht, bzw. als Fremdkörper empfunden wird.

Nach der Auswertung wollten wir zu den Antworten auf Frage 5 noch detailliertere Auskünfte erhalten.

Es wurde daher allen Patienten, die diesen Fragenkomplex bejaht hatten, im Jahr 1981 einen Zusatzfragebogen zugeschickt (s. S.57, 58).

FRAGEBOGEN UMFRAGE 1980

I. Allgemeiner Teil :

1. Sind Sie mit Ihrem Tübinger Implantat zufrieden ?

   Ja / Nein Weshalb nicht ?

2. Hatten Sie Schwierigkeiten bei der Gewöhnung an das Implantat ?

   Ja / Nein

3. Hatten Sie nach der Implantationsoperation Schmwerzen am Implantat ?

   Ja : stark ständig schwach
   immer wieder vereinzelt
   Nein

4. Empfanden oder empfinden Sie das Implantat als Fremdkörper ? (Fremdkörpergefühl)

   Ja / Nein

5. Haben Sie an Ihrem Implantatzahn

   Mißempfindungen Ja / Nein
   Schmerzen Ja / Nein
   Spannungs- u. Druckgefühle Ja / Nein
   Temperaturempfindungen, die sich von den übrigen Zähnen unterscheiden ?

   Wenn ja: kalt Ja / Nein
   heiß Ja / Nein

FRAGEBOGEN UMFRAGE 1980

6. Wie würden Sie sich selbst einstufen ?

sensibel — äußerst sensibel
unempfindlich — ängstlich
keine Ängste

II. Essen Kauen:

11. Stört Sie das Implantat beim Essen bzw. Kauen von Speisen ?

Ja / Nein

12. Schonen Sie das Implantat beim Essen ?

Ja / Nein / Weiß nicht

a) Wenn ja - kauen Sie bevorzugt auf der dem Implantat gegenüberliegenden Kieferhälfte ?

Ja / Nein / Weiß nicht

13. Kauen Sie außerhalb der Mahlzeiten auf dem Implantatzahn ?

Ja / Nein / Weiß nicht

14. Spielen Sie mit der Zunge bzw. Lippe am Implantatzahn ?

Ja / Nein / Weiß nicht

15. Scheint Ihnen der Implantatzahn im Vergleich zu den übrigen Zähnen verlängert zu sein ?

Ja / Nein Falls ja, haben Sie das Gefühl ständig?

FRAGEBOGEN UMFRAGE 1981

1) Sind Sie mit Ihrem Implantat zufrieden ? Ja/Nein

2) Hatten Sie die Mißempfindungen

a) nur in den ersten Tagen und Wochen nach der Implantation ? Ja/Nein

b) oder über längere Zeit ? Ja/Nein

c) oder haben Sie sie heute noch ? Ja/Nein

Die folgende Frage 3 bitte nur beantworten, wenn Sie bei 2c mit Ja geantwortet haben.

3) Was spüren Sie an Ihrem Implantatzahn zum heutigen Zeitpunkt

- Mißempfindungen Ja/Nein
- Schmerzen Ja/nein
- Spannungs- und Druckgefühle Ja/Nein
- Temperaturempfindungen, die sich von den übrigen Zähnen unterscheiden Ja/nein

Wenn ja: kalt Ja/Nein
heiß Ja/Nein

Diese Frage ebenfalls nur beantworten, wenn Sie 2c mit Ja beantwortet haben:

4) Sind diese Empfindungen im Vergleich zum letzten Jahr

- unverändert
- schwächer
- stärker

FRAGEBOGEN UMFRAGE 1981

5) Empfanden oder empfinden Sie das Implantat als Fremdkörper ? (Fremdkörpergefühl) Ja/Nein

6) Haben Sie den Eindruck, daß die Berührungsempfindlichkeit, d.h. die Wahrnehmungsfähigkeit von Druck- und Berührkräften, die natürlicherweise auf den Implantatzahn einwirken, im Vergleich zum natürlichen Zahn

- genauso gut ist ?
- etwas geringer ist ?
- deutlich schwächer ist ?

3.2.11 Statistische Berechnungen

Die Einzelergebnisse der Messungen, die vom Tischrechner gespeichert und ausgedruckt worden waren, wurden kontrolliert und mit den Diagrammen des Linienschreibers verglichen. Anschließend wurde für jede Sitzung in jedem Teilbereich der Messung aus den Einzelwerten das arithmetische Mittel und der 95% - Vertrauensbereich errechnet. Diese Werte sind in cN in den Tabellen 10 - 15 auf S.109 ff. im Anhang wiedergegeben.

Um die Zusammenhänge zwischen der Liegedauer der Implantate und der Veränderung der Berühr- und Druckschwellen auf statistische Signifikanz zu überprüfen, wurden die Mittelwerte in Gruppen zusammengefaßt (s.Tab.4 S.73).

Die Gruppeneinteilung erfolgte nach der Liegedauer. Zum Beispiel wurden die Berührschwellen der Vergleichszähne in Gruppe 1 und Gruppe 2 erfaßt.

Für die Berechnung signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen diente als Stichtag eine Liegedauer von 370 Tagen.

Die Vergleiche der einzelnen Gruppen untereinander wurden als Kombination A - M bezeichnet. Sie sind in Tab. 5 aufgelistet.

Der F - Test (Cavalli-Sforza, Sachs, 8,51) diente dazu unterschiedliche Varianzen der Grundgesamtheiten der verglichenen Gruppen darzustellen (s. Tab.7 S.76). Die Sicherheit dieser Aussage lag bei 95%. Das Ergebnis des F - Tests bildete die Grundlage für die weiteren Signifikanztests.

Da bei unterschiedlichen Varianzen der Grundgesamtheiten der T - Test nach Student nicht gerechnet werden darf, kamen nur der Aspin - Welsh Test oder der U - Test nach Mann und Whitney in Frage (12,51).

Die Ergebnisse beider Verfahren, d.h. ob sich die verglichenen Gruppen signifikant unterscheiden, sind in Tab.7 u. 8 dargestellt. Sie werden in Kap. 3.3 näher erläutert.

Die statistische Auswertung erfolgte im Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen.

3.3 ERGEBNISSE

Mit dem beschriebenen Meßsystem wurden bei 32 Implantatpatienten Sensibilitätsmessungen durchgeführt. Bei 11 von ihnen erfolgten Mehrfachmessungen. (s.Tab.3 S.62) Es wurden nur Implantate im Oberkiefer - - Frontzahnbereich herangezogen. In der Abbildung 21 auf S.63 sind die verschiedenen Lokalisationen dargestellt. Unterschiedliche Häufigkeiten eines gemessenen Zahntyps sind rein zufällig.

Alle Patienten waren in der Lage beim natürlichen Zahn und beim Implantat 2 Empfindungsqualitäten zu unterscheiden. Zunächst wurde von ihnen eine unklare Empfindung registriert, die am besten mit dem Begriff "Berührung" umschrieben werden kann, kurz darauf wurde dann ein erstes leichtes Druckgefühl wahrgenommen.

Alle Patienten berichteten unabhängig voneinander, daß die Empfindung eher als stumpf und undeutlich zu bezeichnen sei. Außerdem sei nur eine allmähliche Zunahme zu bemerken. Mehrfach hatten sie Schwierigkeiten eine 'Schwelle' zu finden. Dies äußerte sich dann in relativ großen Schwankungen der Einzelwerte.

Die erfaßten einzelnen Meßwerte wurden vor weiteren Auswertungen auf mögliche Korrelationen mit der Zeit untersucht, um mögliche ermüdungsbedingte Trends herauszufinden. Bei 6 Patienten ergab sich eine zeitliche Korrelation mit unterschiedlich hohem Bestimmtheitsgrad. Allerdings waren davon in allen Fällen nur einzelne Anteile einer Meßreihe betroffen, sodaß diese Ergebnisse keine Anhaltspunkte für ermüdungsbedingte Schwellenänderungen darstellen.

Tabelle 3: VERTEILUNG DER MEHRFACHMESSUNGEN

Patientennummer: interne Verschlüsselung des Patientennamens
Bsp.: 3/78; 3 = fortlaufende Nummer
78 = Jahr der ersten Messung
Mehrfachmessung: mehrere Messungen an verschiedenen Tagen

	Anzahl der Mehrfachmessungen		
	2	3	5
Patienten-nummer	3/78	4/48	8/79
	6/79	7/79	
	11/79		
	13/79		
	14/79		
	16/79		
	18/79		
	20/79		

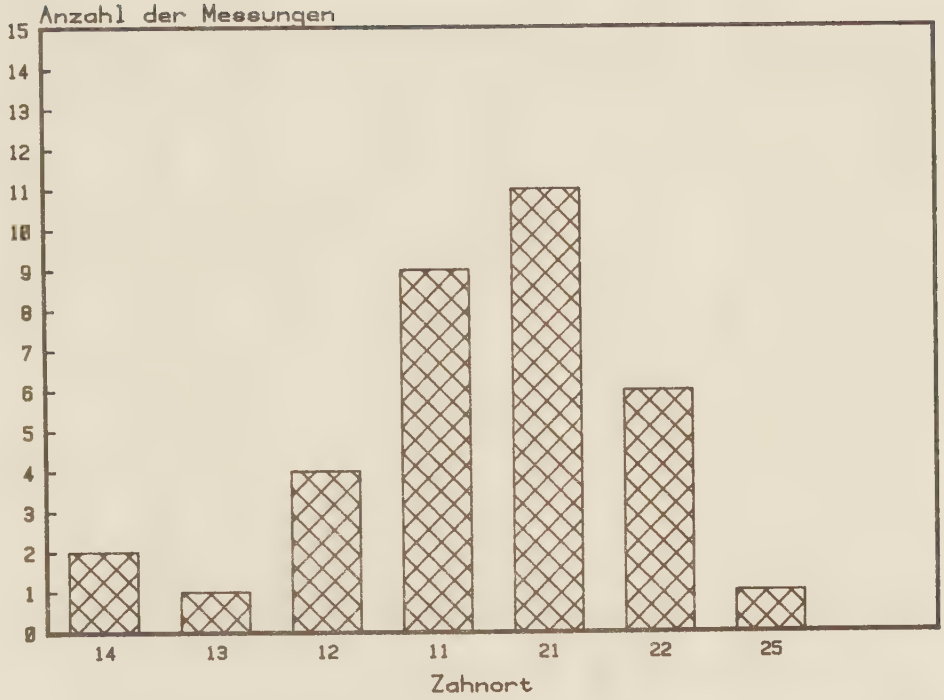


Abb. 21: Lokalisationen der gemessenen Implantate. Die Säulendiagramme zeigen die Anzahl der Messungen, die an den entsprechenden Stellen im Oberkiefer durchgeführt wurden.

In Abb. 22 auf S.65 sind die Berührschwellen aller Implantate und der entsprechenden Vergleichszähne in Abhängigkeit von der Liegedauer dargestellt. Abb. 23 zeigt die entsprechenden Druckschwellen. Die Werte entsprechen den im Anhang in den Tabellen 10 - 14 dargestellten Werten.

Die Abbildungen 22 und 23 zeigen, daß die Implantate mit einer Liegedauer von 12 Monaten und weniger höhere Schwellenwerte zeigen, als die mit längerer Liegedauer. Auch die zugehörigen Vertrauensbereiche sind bei den Implantatträgern, deren Implantate eine Liegedauer bis zu 1 Jahr aufweisen, deutlich größer.

Die Tastschwellen der Vergleichszähne (s.Abb.24 S.67) zeigen keinen vergleichbaren Trend. Dies gilt auch für die dazugehörenden 95% Vertrauensbereiche.

Die zeitabhängige Veränderung der Tastsensibilität unter dem Einfluß der kaufunktionellen Belastung ist in Abbildung 25, 26, 27 und 28 dargestellt. Als Beginn der Belastung wurde der Tag angenommen, an dem die prothetische Suprakonstruktion definitiv eingesetzt worden war. In Tabelle 15 im Anhang finden sich dazu die entsprechenden Meßwerte. Die graphischen Darstellungen in Abb.25 und 26 zeigen, daß die Empfindungsschwellen innerhalb des ersten Jahres nach Eingliederung der Suprakonstruktion deutlich abnehmen. Dies entspricht dem Trend in Abb.22 und 23.
Mit der statistischen Analyse wurde diese beobachtete Veränderung im Schwellenverhalten auf ihre Signifikanz überprüft.

(Forts. S. 72)

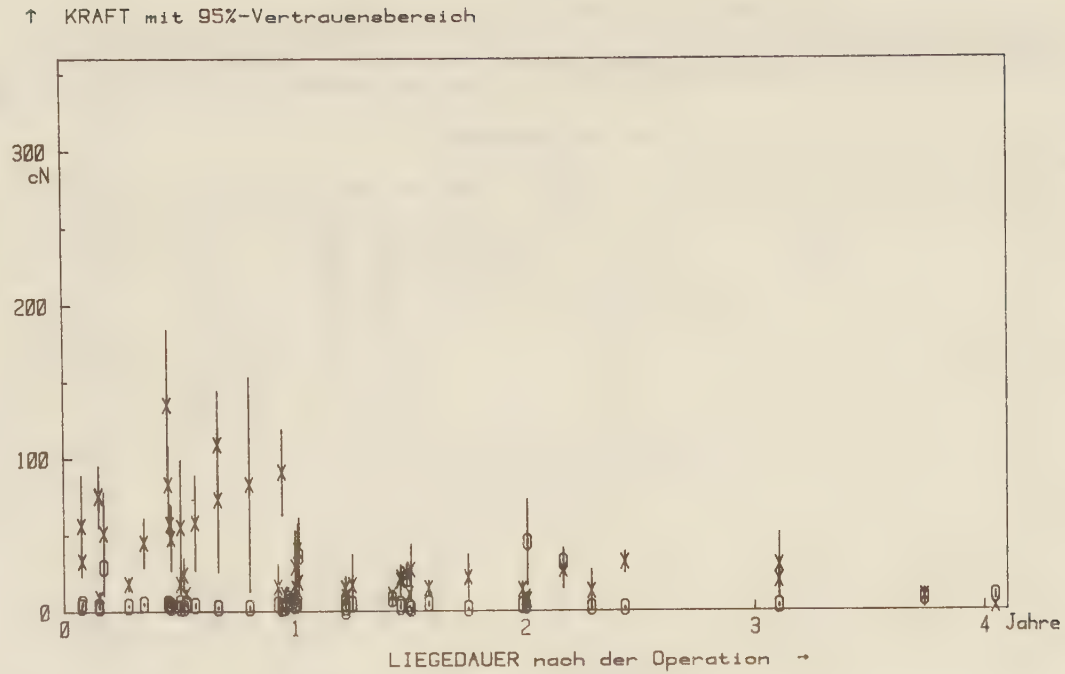


Abb. 22: Kraft/Zeit - Diagramm der Berührschwellen der Implantate und der natürlichen Vergleichszähne. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit dem 95%-Vertrauensbereich. O = Mittelwerte der natürlichen Vergleichszähne
X = Mittelwerte der Implantate

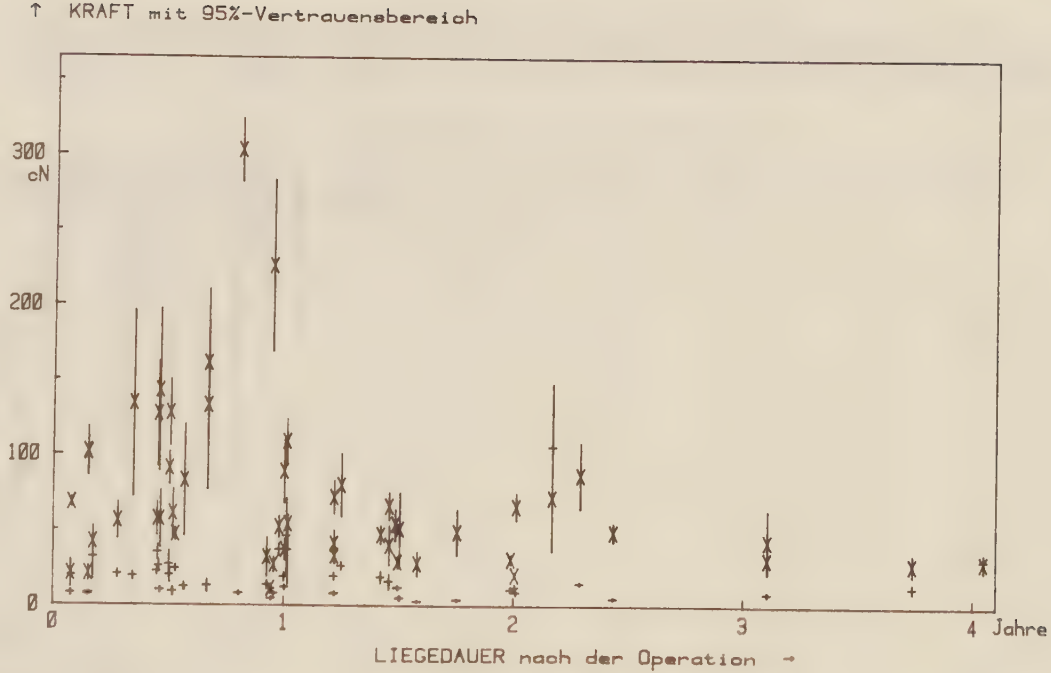


Abb. 23: Kraft/Zeit - Diagramm der Druckschwellen der Implantate und der natürlichen Vergleichszähne. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit dem 95%-Vertrauensbereich. + = Mittelwerte der natürlichen Vergleichszähne
X = Mittelwerte der Implantate

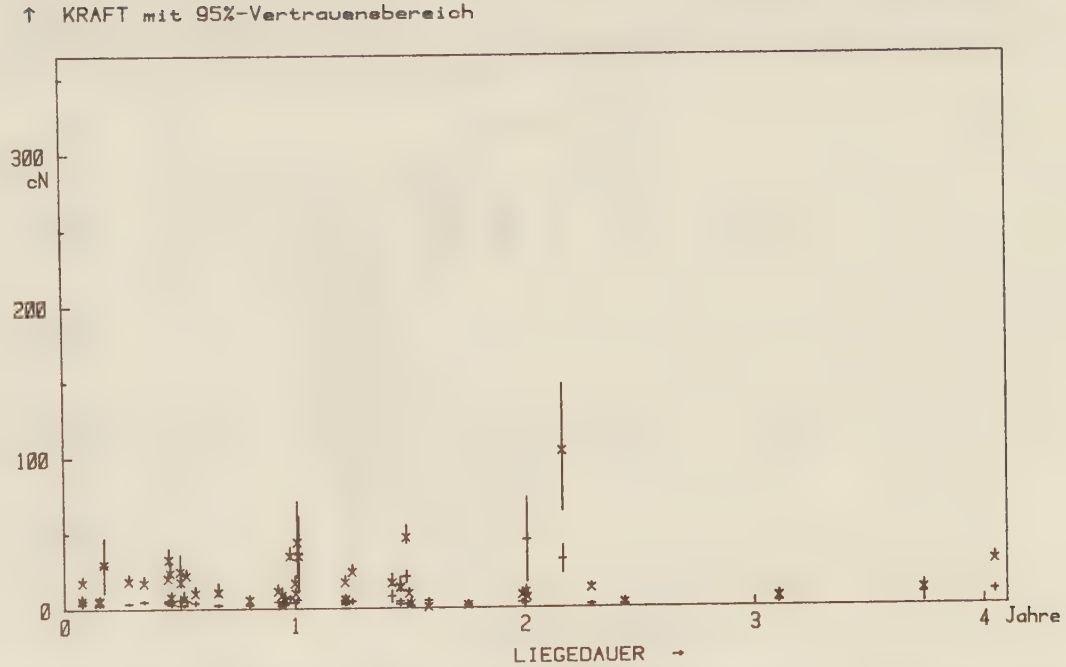


Abb. 24: Kraft/Zeit - Diagramm der Empfindungsschwellen der Vergleichszähne. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit dem 95%-Vertrauensbereich.
- = Mittelwerte der Berührschwellen
x = Mittelwerte der Druckschwellen

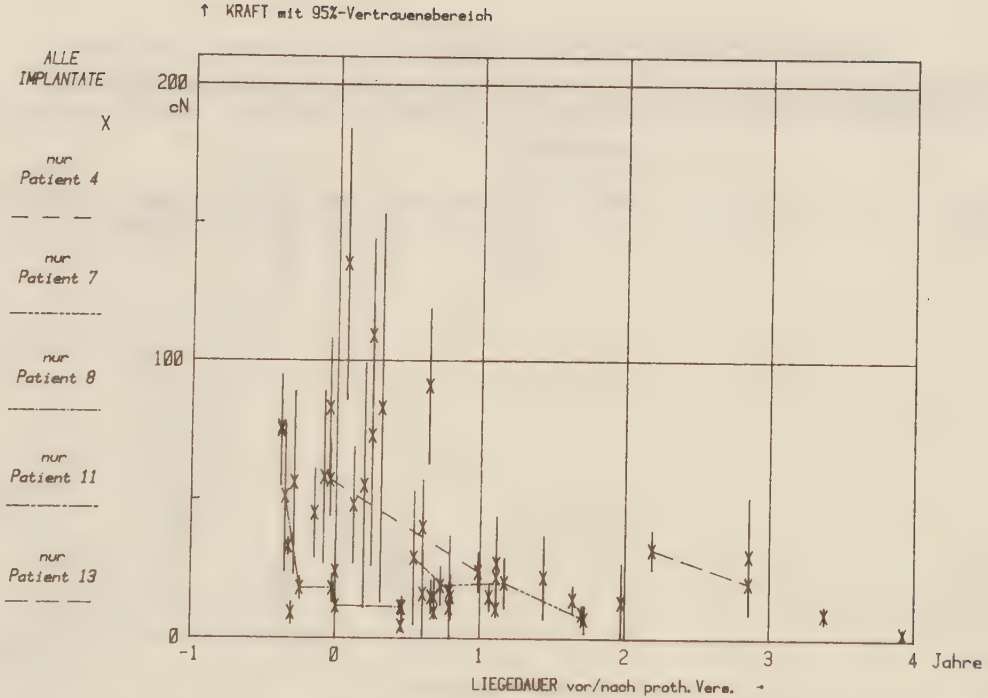


Abb. 25: Kraft/Zeit - Diagramm der Berührschwellen der Implantate vor und nach prothetischer Versorgung. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit dem 95%-Vertrauensbereich. Der Zeitpunkt "0 - Jahre" bezeichnet den Tag, an dem die prothet.Versorgung eingesetzt wurde. Die Linien verbinden die Schwellenwerte mehrfacher Messungen einzelner Patienten.

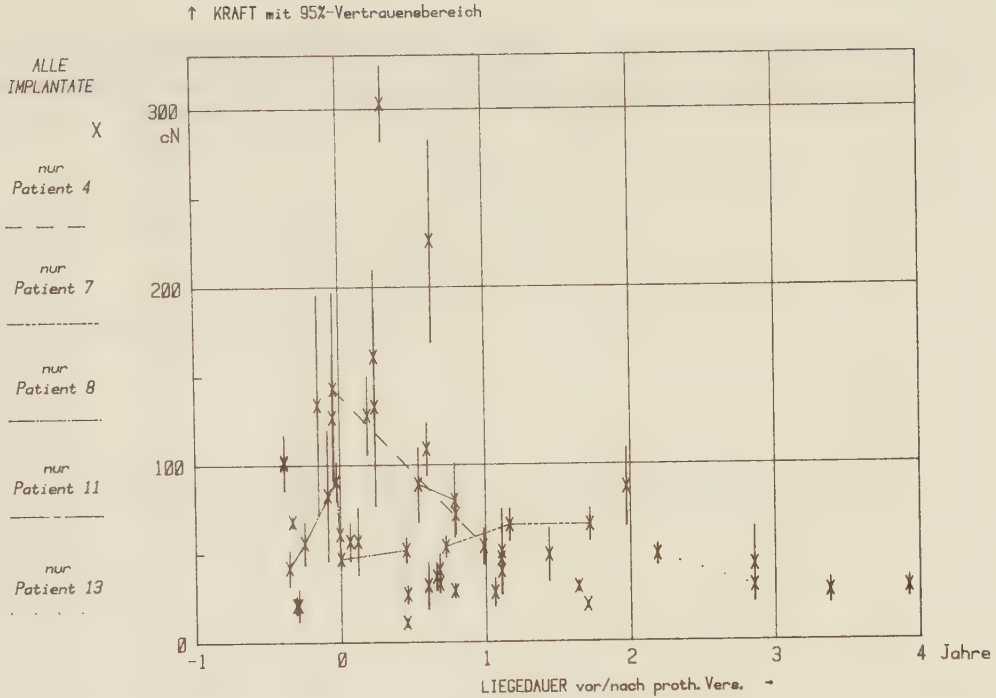


Abb. 26: Kraft/Zeit - Diagramm der Druckschwellen der Implantate vor und nach prothetischer Versorgung. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit dem 95%-Vertrauensbereich. Der Zeitpunkt "O - Jahre" bezeichnet den Tag, an dem die prothet. Versorgung eingesetzt wurde. Die Linien verbinden die Schwellenwerte mehrfacher Messungen einzelner Patienten.

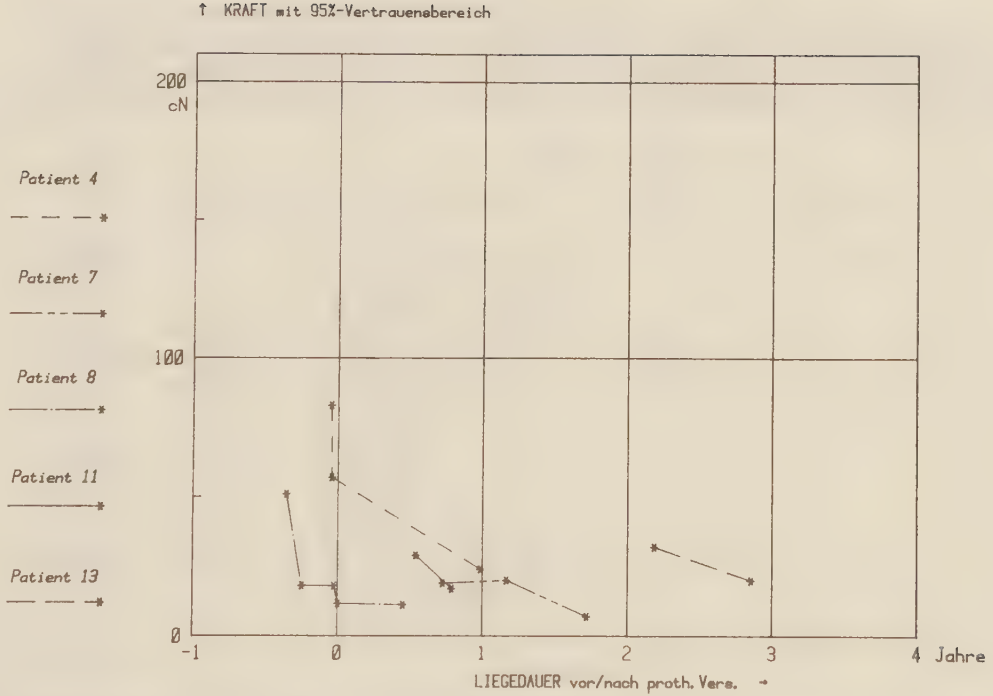


Abb. 27: Kraft/Zeit - Diagramm der Berührschwellen der Implantate einzelner Patienten vor und nach prothetischer Versorgung. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen zu verschiedenen Zeitpunkten. "0 - Jahre" bezeichnet den Tag, an dem die prothetische Versorgung eingesetzt wurde.

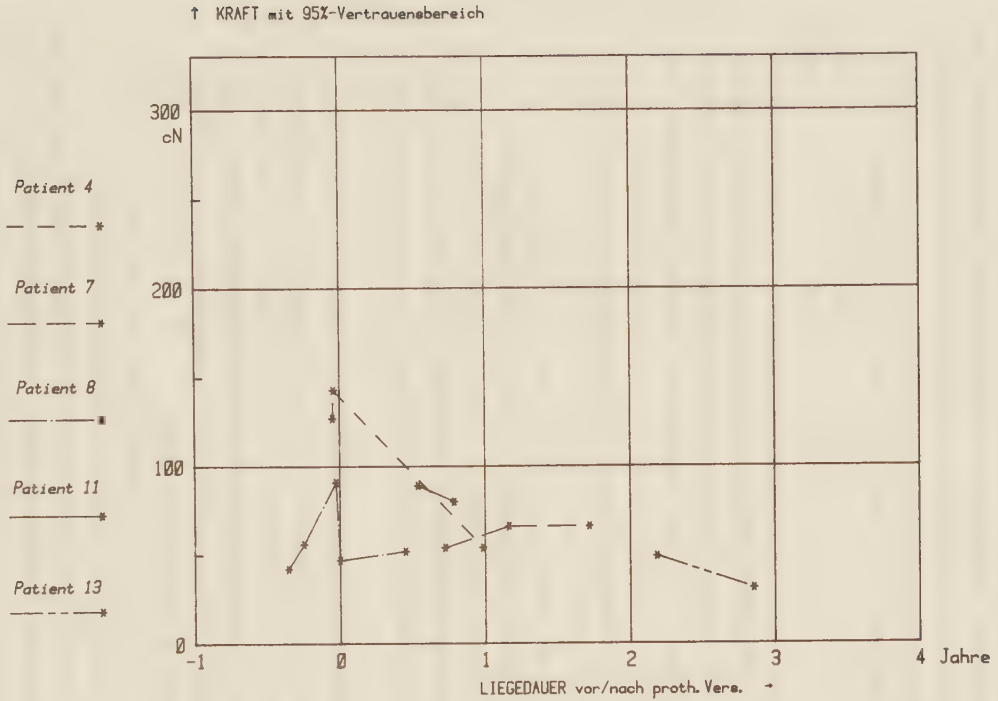


Abb. 28: Kraft/Zeit - Diagramm der Druckschwellen der Implantate einzelner Patienten vor und nach prothetischer Versorgung. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen zu verschiedenen Zeitpunkten. "O - Jahre" bezeichnet den Tag, an dem die prothetische Versorgung eingesetzt wurde.

Die Ergebnisse nach dem Aspin - Welsh Test (12) zeigten (s. Tab.7), daß:

1. bei den Berühr - und Druckschwellen der Vergleichszähne (s. Komb. A u. C Tab.4,5 u.7) mit 95% Wahrscheinlichkeit kein signifikanter Unterschied vorliegt, d.h. Berühr - und Druckschwellen der Vergleichszähne bei einer Implantatliegedauer von weniger als 370 Tagen und mehr als 370 Tagen unterscheiden sich nicht signifikant;

2. die Berühr - und Druckschwellen der Implantate (Komb.B u.D Tab.5) beider Gruppen, nämlich mit weniger als 370 Tagen Liegedauer und mit mehr als 370 Tagen Liegedauer mit 95% Wahrscheinlichkeit verschieden sind;

Der U - Test nach Mann und Whitney (51) bestätigt das obige Ergebnis (vgl. Tab.7 u. 8 S.77,78).

Somit kann festgestellt werden, daß der in den graphischen Darstellungen beschriebene Trend, der Abnahme der Empfindungsschwellen bei den Implantaten, mit 95% Wahrscheinlichkeit nicht zufallsbedingt ist.

Außerdem wurde mit dem Aspin - Welsh Test und dem U - - Test nach Mann und Whitney überprüft, ob sich die Berühr - und Druckschwellen vom Implantat und vom natürlichen Vergleichszahn in Abhängigkeit von der Liegedauer (weniger als 370 oder mehr als 370 Tage) signifikant unterscheiden.

Dies wurde mit den Kombinationen E,F,G und H untersucht. Durch die Kombinationen E und F wurden die Berührschwellen verglichen. Mit den Kombinationen G und H erfolgte der Vergleich der Druckschwellen.

(Forts. S. 79)

Tabelle 4: GRUPPENEINTEILUNG FÜR DIE STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die Mittelwerte der Einzelmessungen bei den Implantaten und den natürlichen Vergleichszähnen wurden, entsprechend der Liegedauer der Implantate, zu verschiedenen Gruppen zusammengefaßt (vgl. Tab. 10 - 15 S.109ff.).

Gruppen Nummer	Bezeichnung der Gruppe
1	Berührschwellen der Vergleichszähne bei Implantaten mit < 370 Tagen Liegedauer
2	Berührschwellen der Vergleichszähne bei Implantaten mit > 370 Tagen Liegedauer
3	Druckschwellen der Vergleichszähne bei Implantaten mit < 370 Tagen Liegedauer
4	Druckschwellen der Vergleichszähne bei Implantaten mit > 370 Tagen Liegedauer
5	Berührschwellen der Implantate mit < 370 Tagen Liegedauer
6	Berührschwellen der Implantate mit > 370 Tagen Liegedauer
7	Druckschwellen der Implantate mit < 370 Tagen Liegedauer
8	Druckschwellen der Implantate mit > 370 Tagen Liegedauer

Tabelle 4 (Forts.): GRUPPENEINTEILUNG FÜR DIE STATISTISCHE AUSWERTUNG

Gruppen Nummer	Bezeichnung der Gruppe
9	Berührschwellen der Implantate mit < 370 Tagen Liegedauer vor Anästhesie
10	Berührschwellen der Implantate mit > 370 Tagen Liegedauer vor Anästhesie
11	Berührschwellen der Implantate mit < 370 Tagen Liegedauer nach Anästhesie
12	Berührschwellen der Implantate mit > 370 Tagen Liegedauer nach Anästhesie
13	Druckschwellen der Implantate < 370 Tagen Liegedauer vor Anästhesie
14	Druckschwellen der Implantate > 370 Tagen Liegedauer vor Anästhesie
15	Druckschwellen der Implantate < 370 Tagen Liegedauer nach Anästhesie
16	Druckschwellen der Implantate > 370 Tagen Liegedauer nach Anästhesie

Tabelle 5: KOMBINATIONEN DER GRUPPEN ZUR ERMITTLUNG STATISTISCH SIGNIFIKANTER UNTERSCHIEDE ODER GEMEINSAMKEITEN

Die in Tabelle 4 aufgelisteten Gruppen wurden in den nachfolgend genannten Kombinationen auf statistisch signifikante Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten untersucht.

KOMBINATION	1. GRUPPE	2. GRUPPE
A	1	2
B	5	6
C	3	4
D	7	8
E	5	1
F	6	2
G	7	3
H	8	4
I	9	11
K	10	12
L	13	15
M	14	16

Tabelle 6: MITTELWERTSSTATISTIK

Die Kombinationen A - M sind in Tab. 5 näher erläutert.

KOMBI-NATION	ANZAHL		MITTEL-WERTE		STANDARD-ABWEICHGN.		FREIHEITS-GRADE		F - TEST	
	n1	n2	m1	m2	s1	s2	f1	f2	F	Tabw. 95%
A	26	21	4,90	9,70	5,09	12,60	20	25	6,14	2,08
B	28	23	48,26	16,99	33,18	7,76	27	22	18,30	1,84
C	26	21	18,20	20,36	10,68	22,77	20	25	4,55	2,08
D	28	23	89,97	47,90	65,30	18,59	27	22	12,34	1,84
E	24	24	44,30	4,94	34,09	5,30	23	23	41,39	1,96
F	21	21	16,73	9,51	7,40	12,68	20	20	2,94	2,08
G	25	25	86,32	17,53	68,15	10,32	24	24	43,59	1,96
H	21	21	49,46	20,31	18,72	22,79	20	20	1,48	2,08
I	9	9	45,29	76,57	27,92	90,30	8	8	10,46	3,44
K	7	7	19,14	22,29	6,44	22,43	6	6	12,13	4,28
L	8	8	119,0	117,3	96,16	97,35	7	7	1,03	4,01
M	7	7	54,29	61,57	20,22	45,27	6	6	5,01	4,28

Tabelle 7: STATISTIK ASPIN/WELSH — TEST

Die Kombinationen A - M sind in Tab. 5 näher erläutert.

KOMBI-NATION	C - WERT	L - WERT	TABWERT. 95%	UNTERSCHIEDE ZW. DEN GRUPPEN
A	0,116	-1,657	1,65	-
B	0,938	4,829	1,64	signifikant
C	0,151	-0,400	1,65	-
D	0,910	3,252	1,64	signifikant
E	0,976	5,589	1,64	signifikant
F	0,254	2,260	1,70	signifikant
G	0,980	4,990	1,64	signifikant
H	0,400	4,530	1,68	signifikant
I	0,087	-0,993	1,82	-
K	0,076	-0,360	1,90	-
L	0,494	0,040	1,73	-
M	0,170	-0,390	1,85	-

Tabelle 8: STATISTIK U - TEST NACH MANN U. WHITNEY
Für Z wurde ein Tabellenwert von ± 1,96 zugrundegelegt.
Die Kombinationen A - M sind in Tab. 5 näher erläutert.

KOMBI-NATION	U - WERT	TABWERT. U	Z - WERT	UNTERSCHIEDE ZW. DEN GRUPPEN
A	245,Ø	171	-Ø,6ØØ	-
B	127,Ø	186	3,693	signifikant
C	247,Ø	171	Ø,556	-
D	181,5	186	2,66Ø	signifikant
E	18,5	156	5,56Ø	signifikant
F	94,5	134	3,171	signifikant
G	38,5	163	5,318	signifikant
H	45,Ø	134	4,417	signifikant
I	35,5	17	-Ø,442	-
K	18,Ø	8	Ø,833	-
L	31,5	13	-Ø,Ø53	-
M	2Ø,Ø	8	Ø,575	-

Sowohl der Aspin - Welsh Test, als auch der U - Test zeigen übereinstimmend in allen Kombinationen, daß mit 95% Wahrscheinlichkeit zwischen den Empfindungsschwellen der Implantate und der Vergleichszähne signifikante Unterschiede bestehen (s. Tab.6,7,8 S.76ff.).

Trotz der Abnahme der Empfindungsschwellen der Implantate mit zunehmender Liegedauer führt das nicht zu einer Angleichung an die Tastsensibilität der natürlichen Zähne.

Greift man aus der Gesamtzahl der Meßwerte diejenigen heraus, die die Mehrfachmessungen einzelner Patienten wiedergeben, so bestätigt sich bei den Implantatberührschwellen der festgestellte Trend einer Abnahme mit zunehmender Liegedauer (s. Abb.27 S.70). Für die Druckempfindung ergibt sich kein einheitliches Bild (s. Abb.28 S.71).

3.3.1 Ergebnisse der Sensibilitätsmessungen nach Oberflächenanästhesie

Empfindungsmessungen vor und nach Oberflächenanästhesie wurden bei 10 Patienten insgesamt 16 mal durchgeführt (s.Anhang Tab.14 S.115). Bei den ersten vier Messungen wurde Legecain verwendet. Um eine unzureichende Anästhesie auszuschließen wurde bei allen nachfolgenden Messungen dann Gingicain aufgetragen. Abbildung 29 und 30 zeigen die graphische Darstellung der Berührschwellen und Druckschwellen ohne und mit Oberflächenanästhesie.

Wie die graphische Darstellung erkennen läßt, hatte die Anästhesie keinen Einfluß auf die Meßergebnisse. Die graphischen Darstellungen (s.Abb. 29 u. 30 S.80 u. 81) zeigen von einer Ausnahme abgesehen eine Überlagerung der Vertrauensbereiche bei den einzelnen Meßpunkten.

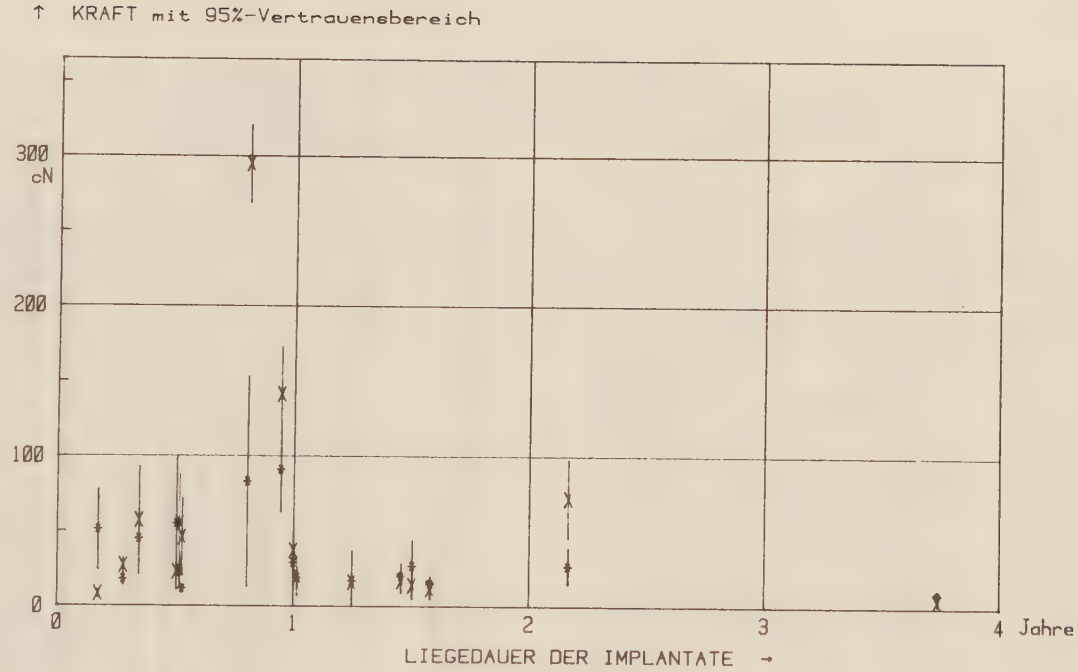


Abb. 29: Kraft/Zeit - Diagramm der Berührschwelle der Implantate vor und nach Oberflächenanästhesie der periimplantären Gingiva. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit 95%-Vertrauensbereich. Die Werte vor Oberflächenanästhesie entsprechen den Implantatschwellenwerten in Abb. 22.
* = Berührschwellen vor Oberflächenanästhesie
X = Berührschwellen nach Oberflächenanästhesie

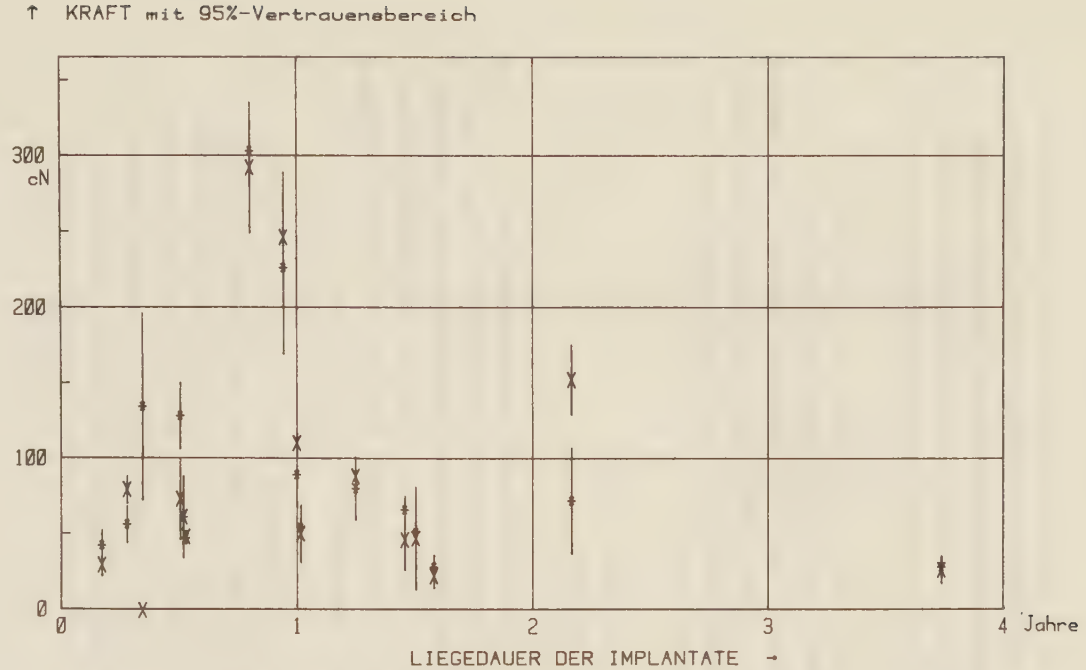


Abb. 30: Kraft/Zeit - Diagramm der Druckschwellen der Implantate vor und nach Oberflächenanästhesie der periimplantären Gingiva. Dargestellt sind die Mittelwerte der Einzelmessungen mit 95%-Vertrauensbereich. Die Werte vor Oberflächenanästhesie entsprechen den Implantatschwellenwerten in Abb. 23.
* = Druckschwellen vor Oberflächenanästhesie
X = Druckschwellen nach Oberflächenanästhesie

Durch die Oberflächenanästhesie hat sich das Empfindungsverhalten also nicht geändert.

Erhärtet wird diese Aussage durch die statistische Analyse. Die Auswertung mittels Aspin - Welsh Test und U - Test bestätigt, daß zwischen den Empfindungsschwellen der Implantate vor und nach Oberflächenanästhesie keine signifikanten Unterschiede bestehen.

Die Tatsache, daß der F - Wert innerhalb des Grenzwertes liegt deutet daraufhin, daß die Standardabweichungen der Grundgesamtheiten hier sehr ähnlich bzw. gleich sind. Somit entspricht auch dieses Ergebnis den Aussagen der anderen statistischen Verfahren.

3.3.2 Nachwirkung von Empfindungen

Vereinzelt wurden wir durch Patienten darauf hingewiesen, daß die Druckempfindungen am Implantat nach dem Ende der Belastung noch nachwirkten und weiter wahrgenommen wurden. Die Dauer der Nachwirkung wurde daraufhin mit der Stoppuhr gemessen. In Tab.9 S.83 sind die Zeiten dargestellt.

Empfindungsnachwirkungen wurden ausschließlich bei Implantatmessungen beobachtet und kamen bei keinem der Patienten während der Messung an einem natürlichen Vergleichszahn vor. Da wir erst durch eine spontane Äußerung einer Patientin darauf aufmerksam gemacht wurden, konnten nicht alle Patienten, bei denen Messungen durchgeführt wurden, dahingehend befragt werden.

Tabelle 9: ÜBERSICHT ÜBER NACHWIRKUNGEN VON EMPFINDUNGEN

xxxxxx = Der Patient berichtete zwar über eine nachwirkende Empfindung, die Zeitdauer und vorherige Implantatbelastung wurden jedoch nicht näher bestimmt.

Patienten-nummer	Nachwirkungsdauer	vorherige Belastung
8/79	45 sec	104,9 cN
	54 sec	99,9 cN
16/79	33 sec	158,2 cN
17/79	27 sec	162 cN
	27 sec	228 cN
13/79	xxxxxx	xxxxxx
28/80	xxxxxx	xxxxxx

3.4 ERGEBNISSE DER FRAGEBOGENAKTIONEN 1980 UND 1981

Die Auswertung der ersten Umfrage (Frühjahr 1980) zeigte uns, unabhängig von den Ergebnissen, das hohe Maß an Interesse, das die Patienten dieser Versorgung entgegenbringen. So wurden von 115 verschickten Fragebögen 98 beantwortet. Oft wurden die einfachen Ja/Nein - Antworten durch zusätzliche Kommentare ergänzt und vervollständigt.

55% der Patienten (54 Personen) waren männlichen Geschlechts und 45% (44) waren weiblich. Mehr als die Hälfte, nämlich 52% (51 Pers.) waren 30 Jahre alt bzw. jünger. Die zweitstärkste Gruppe bildeten die 30 - 50 jährigen mit 35% (34 Pers.). 13 Patienten waren älter als 50 Jahre. Dies entspricht einem Anteil von 13%.

Die Altersstruktur erklärt sich aus den Indikationen für das Tübinger Implantat. Ursprünglich (und auch noch während unseres Untersuchungszeitraumes) war das Implantat als Sofortersatz für verlorengegangene bzw. zu extrahierende Zähne gedacht. Erst im Jahr 1981 kam ergänzend die Indikation als sog. Spätimplantat in zahnlosen Kieferabschnitten hinzu. Deshalb wurden anfangs vor allem jüngere Patienten versorgt.

Die Frage "Sind Sie mit ihrem Implantat zufrieden ?" wurde von 94% der Teilnehmer bejaht (s. Abb. 31 S.85).

89% der Patienten (Frage 2, S.55) verneinten die Frage nach möglichen Gewöhnungsschwierigkeiten (s. Abb.31 S.85).

23% der Patienten (23 Pers.) bejahten die Frage nach postoperativen Schmerzen (s. Abb.32 S.86).

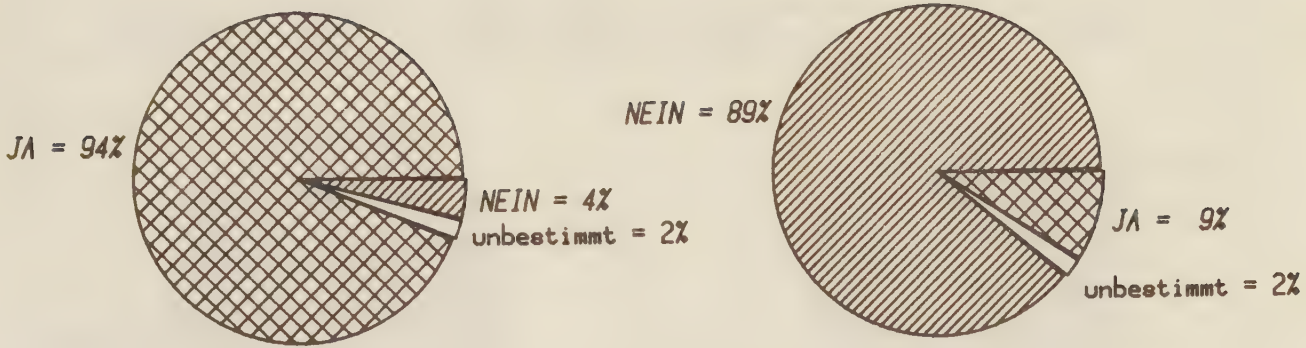
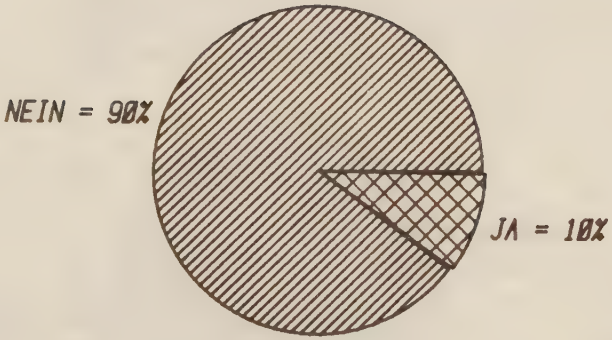


Abb. 31: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Linkes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 1 (s.Seite 55).
Rechtes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 2 (s.Seite 55).
98 Teilnehmer entsprechen 100%.



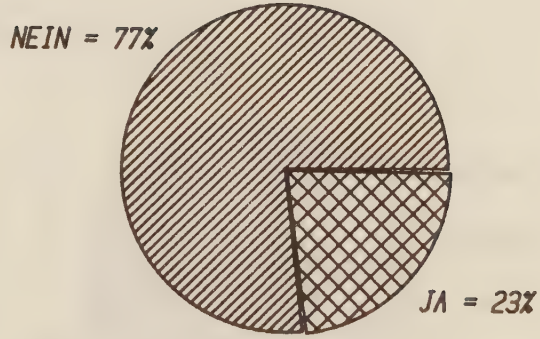


Abb. 32: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Linkes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 4 (Seite 55).
Rechtes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 3 (Seite 55).
98 Teilnehmer entsprechen 100%.

Alle 23 Ja - Antworten entfallen auf die Angaben "vereinzelt", "immer wieder" und "schwach", d.h. wenn also nach der Operation überhaupt Schmerzen auftraten, so handelte es sich bei keinem Patienten um starke bzw. ständige Beschwerden. Nahezu 2/3 dieser Patienten (61%) (Frage 6, S.56) bezeichneten sich als "sensibel", "äußerst sensibel" bzw. "ängstlich".

Von 98 befragten Patienten betrachten 90% ihr Implantat nicht als Fremdkörper (Frage 4, S.55; s.Abb.32). 10% bejahten diese Frage (genaugenommen nur 8%, da 2 nur über anfängliche Beschwerden berichteten).

Nur 1% aller Patienten hatte spontan auftretende Schmerzen am Implantat (s.Frage 5). 8% berichten über Mißempfindungen, 9% über Spannungs-u. Druckgefühle und 17% gaben abnorme Temperaturempfindungen an (s.Abbn.33, 34 S.88, 89). Wenn man die 4 Teilfragen unter dem Oberbegriff parästhetische Empfindungen zusammen auswertet (s.Abb.35 S.90) ergibt sich ein Anteil von 29 Ja - Antworten, das entspricht ca. 30%. Verneint haben diese Frage rund 70% (69 Pers.)

Die Angaben über die Selbsteinschätzung (Frage 6, S.56) sind in der Abbildung 36 auf S.91 zusammengefaßt.

91 Patienten (92%) verneinten die Frage 11. 6 Patienten bejahten sie und 1 Patient beantwortete die Frage nicht (s.Abb.37 S.92). In dieser Frage war nach möglichen Störungen beim Essen gefragt worden (s.S.56).

33 Patienten (33,6%) schonen ihr Implantat beim Essen, um es nicht einer möglichen Schädigung durch die Kaukräfte auszusetzen. 20 davon gehen sogar so weit, daß sie deswegen ihre Kaugewohnheit verändern und auf der anderen Seite beißen. Nach der Selbsteinstufung sind dies nicht die sensiblen oder ängstlichen Patienten (Frage 12,S.56; s.Abb.37 S.92).

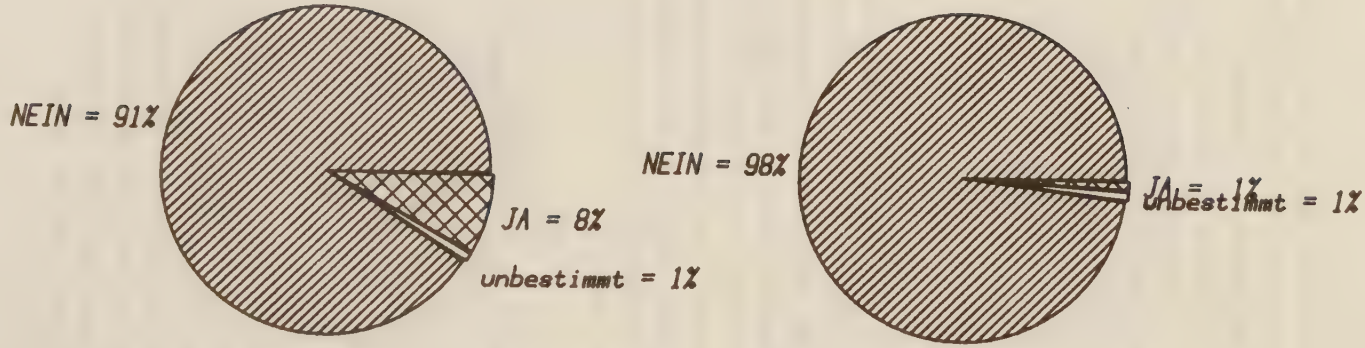


Abb. 33: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Linkes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 5a (Seite 55).
Rechtes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 5b (s. Seite 55).
98 Teilnehmer entsprechen 100%.

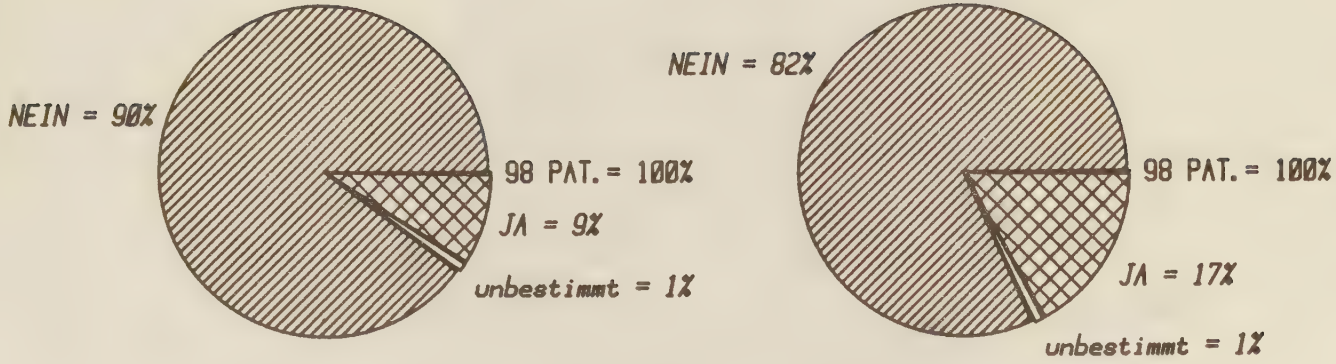


Abb. 34: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Linkes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 5c (s.Seite 55).
Rechtes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 5c (s.Seite 55).

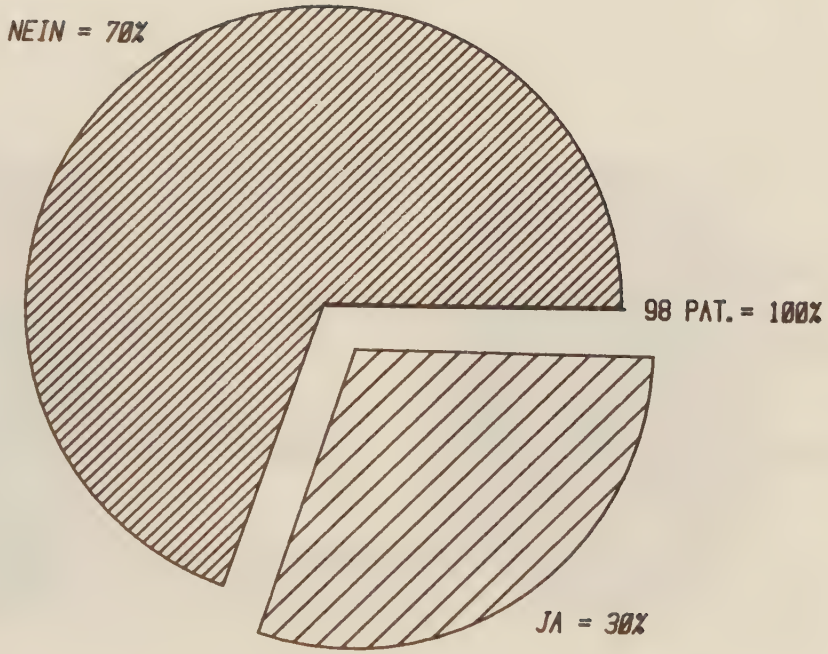


Abb. 35: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 5. In diesem Diagramm sind die Ergebnisse aller vier Teilfragen unter dem Oberbegriff "Parästhetische Empfindungen" zusammengefaßt.

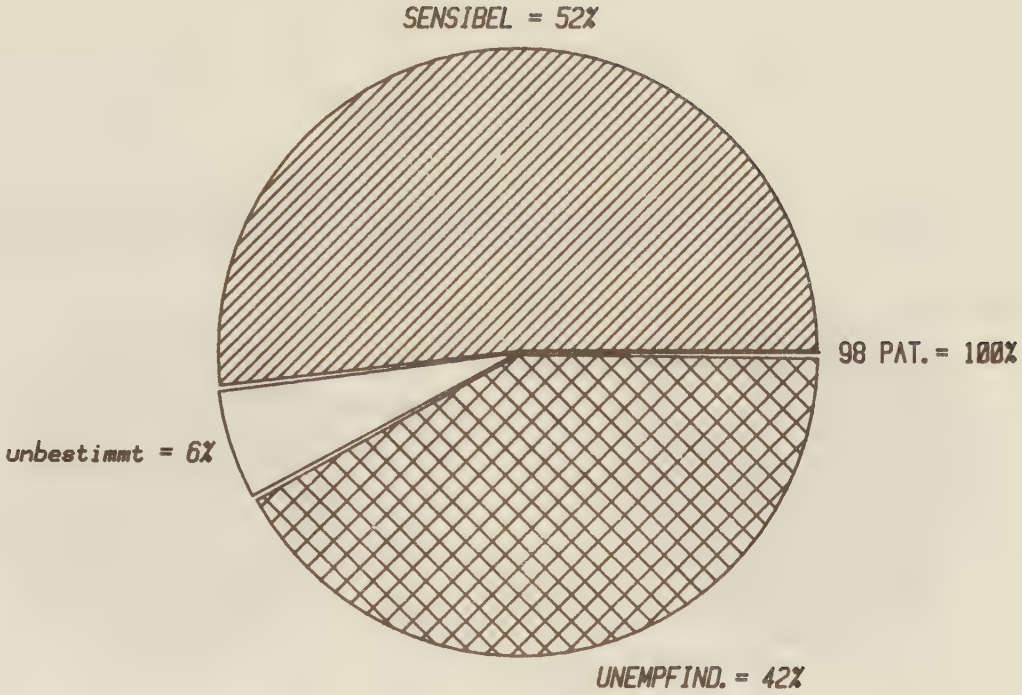


Abb. 36: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980. Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 6. Die Teilnehmer wurden bei dieser Frage dazu aufgefordert, eine psychologische Selbsteinstufung vorzunehmen (s. Seite 56).

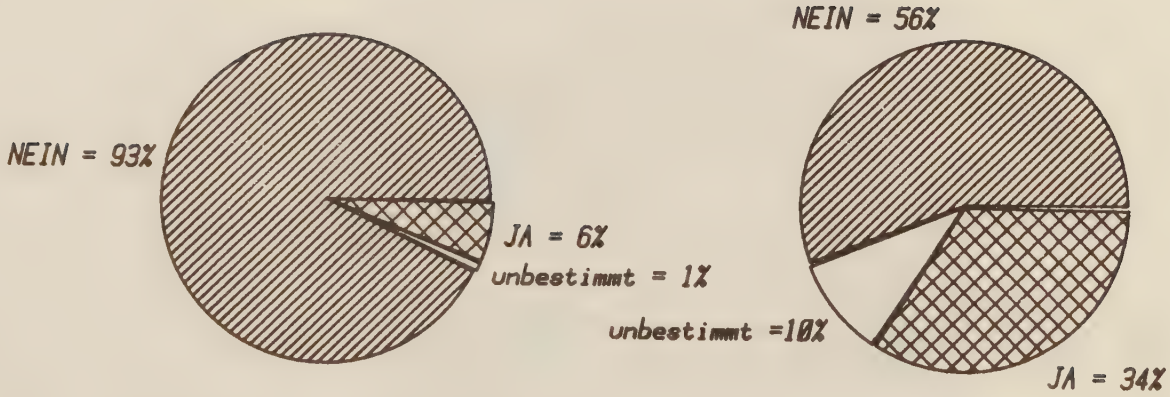


Abb. 37: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Linkes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 11 (s.Seite 56).
Rechtes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 12 (s.Seite 56).
98 Teilnehmer entsprechen 100%.

Von 98 Patienten verneinten die Frage nach Parafunktionen 90 (91,8%), 3 Patienten bejahten sie und 5 gaben keine bestimmte Antwort (Frage 13, S.56; s.Abb.38 S.94).

Die Frage nach möglichen Fehlfunktionen mit der Lippe oder Zunge (Frage 14, S.56) wurde von 55 Patienten (56%) verneint, von 29 Patienten (30%) bejaht und von 14 (14%) nicht eindeutig beantwortet (s.Abb.38 S.94). Die nähere Analyse der 29 Ja - Antworten zeigt, daß die Mehrzahl dieser Patienten sich selbst als sensibel einstuft.

Teilweise bejahten diese Patienten auch die Fragen nach parästhetischen Empfindungen (16 von 29 das entspr. 55,2%). So ist es nicht auszuschließen, daß bspw. eine abnorme Temperaturempfindung ('das Implantat fühlt sich kälter an') oder andere parästhetische Empfindungen als Trigger für Kontrollbewegungen mit der Zunge oder Lippe in Frage kommen.

Die Frage nach einem möglichen Verlängerungsgefühl (s.Abb.39 S.95) wurde von 11 Befragten (11,2%) bejaht.

3.4.1 ERGEBNISSE DER ZUSATZFRAGEBOGENAKTION 1981

Von 29 Fragebögen wurden 18 ausgefüllt wieder zugesandt. Darin wurde in 16 Fällen die Frage nach der Zufriedenheit der Patienten mit ihrem Implantat bejaht (Frage 1, S.57). Bei 2 Patienten war die Antwort nicht eindeutig. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit dem in der ersten Umfrage.

Um die Dauer der Mißempfindungen besser zu erfassen als in der ersten Umfrage, wurden mehrere Alternativ - - Antworten angeboten (s.S.57). 7 Patienten bestätigten, daß sie die Mißempfindungen nur in den ersten Tagen bzw. Wochen nach der Implantation verspürt hatten.

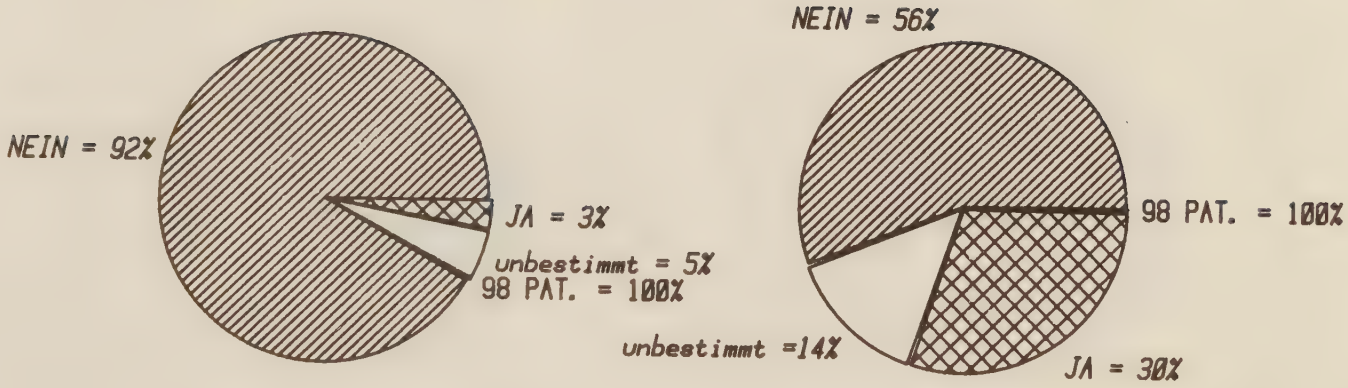


Abb. 38: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Linkes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 13 (s.Seite 56).
Rechtes Diagramm: Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 14 (s.Seite 56)

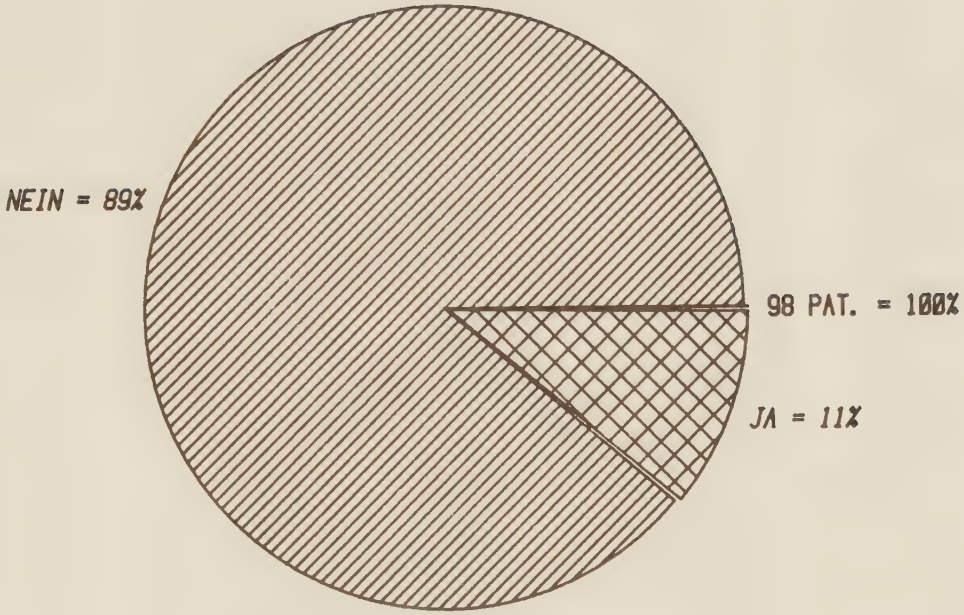


Abb. 39: Ergebnisse der Umfrage unter Implantatpatienten im Jahr 1980.
Prozentuale Anteile der Antworten zu Frage 15 (s.Seite 56). Bei dieser Frage war nach einem möglichen Verlängerungsgefühl am Implantatzahn gefragt worden.

2 Patienten empfanden dies über längere Zeit (Frage 2b) und 8 verspürten sie zum Zeitpunkt der 2. Befragung, also 1 Jahr später noch immer (Frage 2c). Faßt man die Ja - Antworten zu Frage 2a und 2b zusammen und stellt sie denen von Frage 2c gegenüber, so ergibt sich folgendes Bild:

50% der Betroffenen hatten nur vorübergehende Mißempfindungen. Von den 44%, die zum Befragungszeitpunkt noch Mißempfindungen verspürten, empfand aber keiner Schmerzen, sondern lediglich Spannungs - u. Druckgefühle (5 Pers.), bzw. vom natürlichen Zahn abweichende Temperaturempfindungen (3 Pers.).

Bei 4 Patienten waren diese Empfindungen im Vergleich zum Vorjahr unverändert, bei 3 schwächer. Ein Patient berichtete über stärkere Sensationen. Trotz vorhandener Mißempfindungen wird das Implantat von 16 Patienten nicht als Fremdkörper empfunden. Diese Frage wurde nämlich von 16 der 18 Befragten verneint. Dieser Gegensatz hatte sich auch schon bei unserer Erstumfrage im Jahr 1980 abgezeichnet.

4. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Mit den vorliegenden Untersuchungen wollten wir zu einem besseren Verständnis der neurophysiologischen und psychologischen Integration des Tübinger Implantates beitragen.

Dabei dienten die Untersuchungen von Jenz (26), Herholz (24) und Ackermann (1) als Ausgangsbasis für die eigenen Messungen. Unsere Meßergebnisse zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit diesen früheren Arbeiten:

Auch bei unseren Messungen konnten die Patienten, sowohl am natürlichen Vergleichszahn, als auch am Implantat zwischen einer unspezifischen Berührungsempfindung und einer Druckempfindung differenzieren. Beide Empfindungen wurden schon von Jenz und Ackermann als sensorisches Intervall bezeichnet.

Nach Hannam, Griffin und Spain (2,14,15,16,18,34,41) und anderen können diese beiden Empfindungen mit den histologisch dargestellten Typ I und Typ II Endorganen in Zusammenhang gebracht werden. Durch die Ergebnisse der elektrophysiologischen Untersuchungen wurden sie als spontanentladende langsam adaptierende und als schnell adaptierende Einheiten angesprochen.

Die statistische Auswertung der Meßergebnisse berechtigt uns zu der Feststellung, daß sich die taktile Sensibilität des Implantates nach 12 Monaten Liegedauer, bzw. innerhalb des ersten Jahres nach Eingliederung der prothetischen Suprakonstruktion vergrößert. Es erfolgt eine Erniedrigung der Empfindungsschwellen. Dabei handelt es sich anscheinend um einen allmählich ablaufenden Prozess.

Die registrierte Empfindlichkeit der Implantate scheint aufgrund unserer Ergebnisse nicht durch gingivale Mechanorezeptoren vermittelt zu werden, da die Oberflächenanästhesie zu keiner Änderung im Empfindungsverhalten führte.

Aufgrund unserer Ergebnisse bei Implantatpatienten muß bei der Entstehung dieser Empfindungen die Beteiligung des umgebenden Knochens und anderer Gewebstrukturen angenommen werden. Wie schon erwähnt, werden bei der Implantation alle nervösen Elemente des Zahnhalteapparates entfernt. Trotzdem waren die Patienten bei den Sensibilitätsmessungen am Implantat in der Lage, zwischen Berührungs- und Druckempfindungen zu differenzieren. Hinsichtlich ihrer Qualität wurden sie im Vergleich zum natürlichen Zahn meist als dumpf und unscharf bezeichnet. Außerdem bereitete es den Patienten zum Teil erhebliche Schwierigkeiten den Beginn der Empfindung wahrzunehmen. Es wurde über allmählich zunehmende Sensationen berichtet.

Trotz dieser Einschränkungen müssen wir davon ausgehen, wie auch schon Adler (zit. bei Anderson, 9) zeigte, daß das sensorische Intervall der taktilen Sensibilität nicht allein von den parodontalen Mechanorezeptoren hervorgerufen wird, sondern auch durch die Erregung sensibler Strukturen der umgebenden Gewebe zustandekommt.

Dabei könnten die piezoelektrischen Eigenschaften des Knochens eine entscheidende Rolle spielen. Nach Shamos (69) kann die mechanische Belastung zu einer Längsverschiebung der kollagenen Faserbündel des Knochens führen. Dies hätte zwangsläufig einen Bruch und eine anschließende Neuknüpfung der zwischen den Bündeln bestehenden Wasserstoffbrückenbindungen zur Folge. Damit ließen sich, nach Shamos, die piezoelektrischen Eigenschaften erklären.

Diese Polarisierung könnte, als biologisches Signal, im Knochen und in den Weichgeweben liegende Rezeptoren erregen.

Was unsere Meßgenauigkeit anbetrifft, zeigte schon Ackermann (1), daß jede Empfindungsmessung von einer Vielzahl von Faktoren beeinflußt wird, die sich nicht alle erfassen lassen und auch nicht alle verändert werden können. Dabei können grundsätzlich 2 Gruppen unterschieden werden:

a) exogene
b) endogene Einflüsse.

Bei den endogenen Einflüssen kann man noch zwischen
- physiologischen und
- psychologischen unterteilen. (13)

Exogene Einflüsse auf die Messung, bzw. die Messergebnisse können in Fehlern des Meßsystems, bzw. in Einflüssen auf den Patienten bestehen.

Beim Meßsystem spielt unter anderem die Kraftanstiegsgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle. Jenz und Steenberghe (26,71) äußerten darüber gegensätzliche Ansichten. Auch unsere Meßergebnisse wurden von der Kraftanstiegsgeschwindigkeit beeinflußt. So liegen unsere Schwellenwerte deutlich über denen von Herholz, Jenz und Ackermann.

Die Kraftanstiegsgeschwindigkeit mußte aber bei unseren Messungen an die Implantatsensibilität adaptiert werden. Die Verwendung der von Ackermann benützten Feder, die auch zu der von ihm benutzten Kraftanstiegsgeschwindigkeit geführt hätte, kam nicht in Frage. Bei Vorversuchen waren bei dieser Anstiegsgeschwindigkeit bei Messungen am Implantat Einschleicheffekte aufgetreten. Außerdem wären Kräfte zwischen 70 und 200 cN über den elastischen Bereich dieser Feder hinausgegangen.

Die Veränderung der Kopfhaltung während der Messung konnte zwar durch die Nackenstütze und die Zwischenschaltung der Feder teilweise kompensiert werden, könnte sich aber dennoch als endogener Faktor ausgewirkt haben. Kopfbewegungen erzeugen eine Winkeländerung zwischen Zahn- bzw. Implantatlängsachse und Kraftfühler und könnten, daher möglicherweise das Intrusionsverhalten des Zahns bzw. des Implantates beeinflußen.

Weitere endogene physiologische Faktoren sind u.a. der Ermüdungsgrad und der sonstige körperliche Allgemeinzustand. Wie schon im Ergebniskapitel gezeigt wurde, konnten Ermüdungserscheinungen in beinahe allen Fällen ausgeschlossen werden. Vorübergehende Ermüdungserscheinungen waren auf die teilweise langen Anfahrten zurückzuführen und wurden mit einer entsprechenden Pause ausgeglichen.

Bei Sensibilitätsmessungen am Implantat sind noch weitere endogene physiologische Einflüsse denkbar:

- Unterschiede im knöchernen Implantatbett
- unterschiedliche Implantatgrößen.

Der applizierte Reiz, d.h. der Druck, der auf das umgebende Gewebe wirkt, ist abhängig von der Größe der Fläche über die er wirkt. Die Flächengröße wird vom Zustand des knöchernen Implantatbettes und von der Größe des Implantates, d.h. von seinem Durchmesser und der Anzahl seiner Stufen bestimmt. Die Beurteilung des knöchernen Implantatbettes war bei unseren Messungen nur durch die Prüfung der klinischen Beweglichkeit und die Beurteilung der Röntgenaufnahmen möglich. Beide Verfahren sind sehr unspezifisch. Für künftige Arbeiten stehen mit dem Periotest - Verfahren hier wesentlich exaktere Prüfungsmethoden zur Verfügung (64).

Von den endogenen psychologischen Faktoren sei hier nur kurz auf die Motivation und Konzentration hingewiesen. Beide spielen bei Empfindungsmessungen eine entscheidende Rolle.

Aufgrund vieler Unterhaltungen konnten wir feststellen, daß beinahe alle Patienten sehr motiviert waren und den Maßnahmen, die mit ihrer Implantatversorgung in Zusammenhang standen großes Interesse entgegenbrachten. Dies wurde auch durch die Ergebnisse der Umfragen verdeutlicht. Dafür spricht auch der hohe Prozentsatz zufriedener Patienten.

Die Inkorporation des Fremdkörpers Implantat in das orale Sensorium ist auf Grund der Umfrageergebnisse unproblematisch. Dafür sprechen die geringen postoperativen Beschwerden und die Tatsache, daß nach Ansicht der Befragten ein Fremdkörpergefühl nicht existiert. Der scheinbare Gegensatz zwischen dem Fehlen des Fremdkörpergefühls und gewissen Mißempfindungen kann so erklärt werden, daß die Mißempfindungen, wie auch die zweite Umfrage 1981 zeigte, in ihrer Intensität zu gering sind, um ein derartiges Gefühl hervorzurufen. Andererseits ist es auch möglich, daß die befragten Patienten mit einem Fremdkörpergefühl andere Gefühlsinhalte assoziieren.

Man sollte berücksichtigen, daß Spannungs- und Druckgefühle, wie sie im Rahmen unserer 2. Umfrage vereinzelt geschildert wurden, möglicherweise durch starke Approximalkontakte hervorgerufen werden können und zu Empfindungen führen, die in Wirklichkeit von den Nachbarzähnen ausgehen.

Die Einstellung zur Implantatversorgung äußert sich auch darin, daß ein Drittel der Befragten ihr Implantat beim Essen schonen. Die Mehrzahl dieser Patienten geht dabei so weit, daß sie deswegen ihre Kaugewohnheiten änderten. Dabei sind dies nicht die sensiblen oder ängstlichen Patienten.

Durch das Umfrageergebnis wird die Möglichkeit von Parafunktionen weitgehend ausgeschlossen. Man sollte aber berücksichtigen, daß Parafunktionen vor allem unbewußt ablaufen.

Vor allem sensible Patienten berichteten über Lippen - und Zungenbewegungen am Implantatzahn. Dabei scheint es sich um regulatorische Kontrollbewegungen zu handeln, d.h. der sensible Patient will sich über die Beschaffenheit des Implantates Gewißheit verschaffen. Ein Teil dieser Patienten berichtete auch über abnorme Temperaturempfindungen. So ist ein leichtes Kältegefühl, hervorgerufen durch das Metall des Kronenaufbaus, möglicherweise auch ein Trigger für diese Bewegungen.

Unsere Ergebnisse berechtigen zu der Aussage, daß das Tübinger Implantat, trotz veränderter taktiler Sensibilität, weitgehend problemlos in die Sinnessphäre der Mundhöhle integriert wird. Aufgrund unserer Umfragen können zwar anfängliche Gewöhnungsschwierigkeiten auftreten, jedoch fehlt ein echtes Fremdkörpergefühl.

Die Erniedrigung der Empfindungsschwelle bei Implantaten mit einer Liegedauer von 1 Jahr und mehr ist sicher eines der interessantesten Ergebinsse unserer Untersuchungen. Natürlich drängt sich hier die Frage einer möglichen Reinnervation in den Vordergrund. Riediger (50) untersuchte 1977 die Reinnervation freier Hauttransplantate im Gesichtsbereich.

Dabei fand er, abhängig vom jeweiligen Transplantattyp, eine Resensibilisierung die im günstigsten Fall mit dem 5. - 6. Monat post operationem einsetzte. Die Berührungs- und Drucksensibilität kehrte langsamer zurück als die Schmerzempfindung. Riediger brachte dies mit der einfacheren Struktur der Schmerzrezeptoren in Zusammenhang.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit dem von uns beobachteten Trend zur Schwellenerniedrigung, so zeigt sich eine gute Übereinstimmung, bezüglich des zeitlichen Ablaufs. Die Rückkehr der Berührungsempfindlichkeit war beim Spalthauttransplantat, wo weniger Rezeptoren transplantiert werden, auch noch 10 Monate postoperativ nicht abgeschlossen.

Entsprechend diesen Beobachtungen kann auch die Schwellenerniedrigung beim Implantat als Symptom eines Reinnervationsprozesses verstanden werden.

Dabei handelt es sich aber keinesfalls nur um einen rein quantitativen Vorgang. Die Verkleinerung der Vertrauensbereiche bei längerer Liegedauer deutet daraufhin, daß sich auch die Empfindungsqualität verbessert. Die Empfindungen wurden eindeutiger und dadurch leichter wahrzunehmen.

Neben der Möglichkeit der Reinnervation sollte auch daran gedacht werden, daß, mit Beginn der kaufunktionellen Belastung innerhalb des ersten Jahres, die Resensibilisierung aus den umgebenden Geweben stattfinden könnte.
Wie Haraldson (19) zeigte, haben Patienten, bei denen alle Zähne durch, mehrere enossale Implantate im Ober - und Unterkiefer ersetzt wurden, keine Schwierigkeiten beim Kauen. Er erklärt dies mit der Ersatzfunktion der umgebenden Gewebe und den Rezeptoren im Kiefergelenk.

Die Theorie der Resensibilisierung unter Beteiligung von Rezeptoren der umgebenden Gewebe, wird durch die vereinzelt beobachtete Nachwirkung der Druckempfindungen unterstützt. Weiterhin spricht dafür auch ein Umfrageergebnis. 11% der Befragten gaben am Implantatzahn ein Verlängerungsgefühl an. Dies könnte mit der gleichzeitigen Reizung mehrerer intraossärer Druckrezeptoren erklärt werden. Weiterhin dürfte diese Empfindung auf die fehlende "Nachgiebigkeit" des enossalen Implantates zurückzuführen sein.

Aufgrund unserer Untersuchungsergebnisse können nur Modellvorstellungen entwickelt werden. So könnte die geringe Intrudierbarkeit enossal verankerter Implantate (47) mit einer reduzierten Sensibiliät korreliert sein. Besteht dagegen die perimplantäre Grenzschicht aus Bindegewebe, so ändert sich das Intrusionverhalten. Damit dürfte auch eine Änderung der Sensibilität einhergehen, da nach Yamada (76) zur Reizung parodontaler Mechanorezeptoren eine minimale Intrusion von 2 -3 µm erforderlich ist. Dann wäre auch mit einer Reizung gingivaler Rezeptoren zu rechnen, wofür wir keine Anhaltspunkte fanden.

Es würden sich also die optimale Sensibilität und die optimale Implantatverankerung gegenseitig ausschließen.

Weiterhin ist es möglich, daß es sich bei der beobachteten Schwellenerniedrigung um einen fortschreitenden Anpassungsprozess handelt, der individuell mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abläuft. Um diese Frage beantworten zu können sind bei den einzelnen Patienten weitere Untersuchungen zur Kontrolle des Schwellenverlaufs notwendig.

Trotz der möglichen Reinnervation kommt es möglicherweise nicht zu einer vollständigen Reparation aller natürlichen Rezeptorleistungen.

Nach d'Hoedt und Lukas (40) bildet das Aufbißtrauma neben Parafunktionen die häufigste Verlustursache nach Beendigung der Einheilungsphase. Dies könnte auf eine mangelhafte Schutzreflexinduktion zurückzuführen sein. Selbst bei einer noch weiter fortschreitenden Adaptation des Empfindungsverhaltens an das der natürlichen Zähne, wird dieser Mangel höchstwahrscheinlich nicht ausgeglichen werden können. Dies sollte bei der Gestaltung der prothetischen Suprakonstruktion berücksichtigt werden. Auch auf Grund der Umfrageergebnisse sollte der Suprakonstruktion größte Sorgfalt gewidmet werden:

Wie schon erwähnt, bilden Parafunktionen ebenfalls eine bedeutende Verlustursache. Durch eine insuffiziente Suprakonstruktion ist es leicht möglich, daß durch zusätzliche lokale Reize aus zunächst harmlosen Kontrollbewegungen ins Unterbewußtsein abgleitende Parafunktionen werden.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde erstmals versucht, die neurophysiologische und psychologische Integration eines enossalen Implantates am Beispiel des Tübinger Systems in das orale Sensorium darzustellen. Gleichzeitig wurde dadurch auch der Stellenwert und die Bedeutung der parodontalen Mechanorezeptoren unterstrichen. Letztendlich unterstreichen die Ergebnisse die Biokompatibilität des Implantatsystems und die Integrationsfähigkeit des menschlichen Körpers.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der vorliegenden Arbeit wurde versucht die Integration des Tübinger Implantates in das orale Sensorium darzustellen. Durch Sensibilitätsmessungen sollten die Qualität und Intensität von Berührungs- und Druckempfindungen beim enossal verankerten Implantat erforscht werden. Außerdem interessierte die Frage, ob gingivale Rezeptoren in der Lage sind, die Funktion der parodontalen Mechanorezeptoren ersatzweise zu übernehmen. Schließlich sollten durch eine Umfrage genauere Erkenntnisse über die Einstellung des Patienten zu seinem Implantat gewonnen werden.

Die Bestimmung der Empfindungsschwelle erfolgte mit dem modifizierten, von Mühlbradt und Lukas entwickelten Meßsystem. Dabei zeigte sich, daß nach einem Jahr Liegedauer eine deutliche Sensibilitätsänderung auftritt, die sich qualitativ und quantitativ in den Meßergebnissen niederschlug. Obwohl die Beteiligung gingivaler Rezeptoren ausgeschlossen wurde, ist an eine Ersatzfunktion des umgebenden Knochens bzw. an eine Reinnervation zu denken.
Nennenswerte Probleme bei der Integration in die Sinnessphäre der Mundhöhle scheinen nicht aufzutreten. Es existiert beim Patienten kein Fremdkörpergefühl. Teilweise auftretende Mißempfindungen haben in den allermeisten Fällen temporären Charakter und sind nicht so intensiv, daß sie das Wohlbefinden des Implantatträgers beeinträchtigen würden. Die subjektive Einstelllung der Patienten zu ihrem Implantat ist sehr positiv. Teilweise ändern die Patienten sogar ihre Kaugewohnheiten um das Implantat nicht zu hohen Belastungen auszusetzen. Sensible versuchen sich durch Kontrollbewegungen mit der Lippe oder Zunge über Zustand und Beschaffenheit ihres Implantates öfter Gewißheit zu verschaffen.

Die Einflüsse exogener und endogener Faktoren auf die Messergebnisse werden diskutiert. Außerdem wird der Versuch einer Interpretation der Schwellenänderung unter Einbeziehung der Umfrageergebnisse unternommen.

6. ANHANG

Tabellen der Meßergebnisse und der Umfragen

Tabelle 10: MITTELWERTE DER EMPFINDUNGSSCHWELLEN DER NATÜRLICHEN VERGLEICHSZÄHNE BEI PATIENTEN MIT EINER IMPLANTATLIEGEDAUER VON < 370 TAGEN

P : Patientennummer
J : Jahr der ersten Messung
Z : Bezeichnung des gemessenen Zahnes
L : Liegedauer des Implantates in Tagen
B : Mittelwert der Berührschwelle in cN
VB : 95% - Vertrauensbereich der Berührschwelle
D : Mittelwert der Druckschwelle in cN
VD : 95% - Vertrauensbereich der Druckschwelle

P	J	Z	L	B	VB	D	VD
34	1980	21	28	3,5	1,6	7,9	1,7
33	1980	11	29	5,7	1	19,7	2
22	1979	11	55	3,7	0,8	7,1	0,9
32	1980	21	56	3,1	0,9	7,9	1
8	1979	11	63	29	18	32	15
8	1979	11	102	3,7	0,3	20,6	2,6
3	1978	11	126	5	0,8	19,3	2,6
31	1980	12	164	5,5	1,3	22,4	2,6
4	1978	22	165	4,2	0,8	35	5
4	1978	22	167	4,6	1,6	26	4
14	1979	12	169	3,1	1	10	1,7
8	1979	11	183	5,8	1,5	27	9
6	1979	11	184	2,4	3	20	5
15	1979	22	189	2,4	0,5	9,1	2,8
8	1979	11	193	5,3	1,5	24,3	2,2
9	1979	12	207	4	1,5	12,4	2,4
16	1979	12	243	2,5	0,5	13	4
3	1978	11	293	2,4	0,9	7,9	1,2
30	1980	14	338	4,6	0,5	13,7	2,3
26	1980	22	344	1,8	0,7	11	3
17	1979	12	345	2,6	1,5	4,6	1
28	1980	21	349	2,4	0,5	8,2	0,9

P	J	Z	L	B	VB	D	VD
8	1979	11	357	6,5	2,4	37	4
11	1979	12	365	3,7	0,5	19	3
14	1979	12	366	4,1	1,2	12,2	1,7
12	1979	11	369	5,7	1,5	46	25

Tabelle 11: MITTELWERTE DER EMPFINDUNGSSCHWELLEN DER NATÜRLICHEN VERGLEICHSZÄHNE BEI PATIENTEN MIT EINER IMPLANTATLIEGEDAUER VON > 370 TAGEN

P : Patientennummer
J : Jahr der ersten Messung
Z : Bezeichnung des gemessenen Zahnes
L : Liegedauer des Implantates in Tagen
B : Mittelwert der Berührschwelle in cN
VB : 95% - Vertrauensbereich der Berührschwelle
D : Mittelwert der Druckschwelle in cN
VD : 95% - Vertrauensbereich der Druckschwelle

P	J	Z	L	B	VB	D	VD
7	1979	21	371	36	25	37	23
16	1979	12	445	2,7	0,5	8,2	1
27	1980	11	445	5,3	1,4	19,5	2,5
11	1979	12	456	4,7	1,7	26,3	2,6
6	1979	11	519	8	4	19	4
7	1979	21	532	2,7	0,9	16,1	1,7
20	1979	12	532	4,6	1,5	16	5
4	1978	22	542	21	4	49	6
24	1980	11	546	3	0,5	12	1,2
21	1979	21	549	1,7	0,4	5,2	1,4
19	1979	11	577	5	1,3	2,9	0,3
18	1979	11	640	1,6	0,6	4,1	0,7
20	1979	12	726	3,6	1,4	10,9	1,5
25	1980	22	732	3,1	0,5	12,5	1,9
7	1979	21	734	45	28	9,2	1,7
18	1979	11	836	2,1	0,7	15,2	1
13	1979	21	889	1,9	0,5	5,2	0,8
13	1979	21	1134	3,3	1,1	8,6	1,5
23	1979	11	1365	8	6	13	3
29	1980	11	1478	9,3	2,3	31,6	2,7

Tabelle 12: MITTELWERTE DER EMPFINDUNGSSCHWELLEN DER IMPLANTATE MIT EINER LIEGEDAUER VON < 370 TAGEN

P : Patientennummer
J : Jahr der ersten Messung
I : Bezeichnung des gemessenen Implantates
L : Liegedauer des Implantates in Tagen
B : Mittelwert der Berührschwelle in cN
VB : 95% - Vertrauensbereich der Berührschwelle
D : Mittelwert der Druckschwelle in cN
VD : 95% - Vertrauensbereich der Druckschwelle

P	J	I	L	B	VB	D	VD
34	1980	11	28	56	33	21	9
33	1980	21	29	33	3	68	3
22	1979	21	55	75	20	102	16
22	1979	22	55	76	10	101	11
32	1980	11	56	9	4	21	5
8	1979	21	63	51	27	42	10
8	1979	21	102	18	4	56	12
3	1978	14	126	45	16	134	62
31	1980	11	164	135	49	57	11
4	1978	14	165	83	25	127	35
4	1978	14	167	57	13	143	54
14	1979	22	169	48	21	57	19
8	1979	21	183	18	5	91	11
6	1979	21	184	55	44	128	22
15	1979	21	189	24	11	61	16
8	1979	21	193	11,6	2,6	47	4
9	1979	22	207	58	31	83	37
16	1979	11	243	109	35	161	49
16	1979	21	243	73	47	133	56
3	1978	14	293	83	70	303	21
30	1980	25	338	16	15	32	13
26	1980	12	344	4,4	1,9	11,1	2,2
17	1979	22	345	91	28	226	57

P	J	I	L	B	VB	D	VD
28	1980	11	349	11	4	27	5
8	1979	21	357	11,2	2,1	52	7
11	1979	22	365	29	24	89	21
14	1979	22	366	15	6	37	7
12	1979	21	369	40	17	109	15

Tabelle 13: MITTELWERTE DER EMPFINDUNGSSCHWELLEN DER IMPLANTATE MIT EINER LIEGEDAUER VON > 370 TAGEN

P : Patientennummer
J : Jahr der ersten Messung
I : Bezeichnung des gemessenen Implantates
L : Liegedauer des Implantates in Tagen
B : Mittelwert der Berührschwelle in cN
VB : 95% - Vertrauensbereich der Berührschwelle
D : Mittelwert der Druckschwelle in cN
VD : 95% - Vertrauensbereich der Druckschwelle

P	J	I	L	B	VB	D	VD
7	1979	11	371	19	7	54	6
16	1979	11	445	15	7	41	9
16	1979	21	445	9,4	2,1	33	5
27	1980	12	445	15	8	72	11
11	1979	22	456	17	20	80	21
6	1979	21	519	10,7	2,9	47	6
7	1979	11	532	20	9	66	9
20	1979	22	532	22	8	40	13
4	1978	14	542	24	7	54	10
24	1980	21	546	11	2,2	29	4
21	1979	11	549	27	17	51	24
19	1979	12	577	15	5	28	8
18	1979	21	640	22	15	49	15
20	1979	22	726	14	5	31	3
25	1980	21	732	8,9	3	20,6	1,9
7	1979	11	734	7	5	66	9
18	1979	21	836	13	14	87	22
13	1979	11	889	32	7	49	6
13	1979	11	1134	20	9	31	9
13	1979	12	1134	30	21	43	21
23	1979	13	1365	9	3	28	7
29	1980	21	1478	2,5	1,7	30	6

Tabelle 14: MITTELWERTE DER EMPFINDUNGSSCHWELLEN DER IMPLANTATE NACH OBERFLÄCHENANÄSTHESIE DER PERIIMPLANTÄREN GINGIVA

P : Patientennummer
J : Jahr der ersten Messung
I : Bezeichnung des gemessenen Implantates
L : Liegedauer des Implantates in Tagen
B : Mittelwert der Berührschwelle in cN
VB : 95% - Vertrauensbereich der Berührschwelle
D : Mittelwert der Druckschwelle in cN
VD : 95% - Vertrauensbereich der Druckschwelle

P	J	I	L	B	VB	D	VD
8	1979	21	63	8,1	2,6	29	7
8	1979	21	102	27	5	79	9
3	1978	14	126	57	36	--	--
6	1979	21	184	23	12	73	27
15	1979	21	189	55	33	61	27
8	1979	21	193	46	26	48	4
3	1978	14	293	295	26	292	43
17	1979	22	345	141	32	246	43
11	1979	22	365	37	18	110	7
7	1979	11	371	20	13	50	19
11	1979	22	456	16	11	88	5
7	1979	11	532	17	8	46	20
21	1979	11	549	14	9	47	34
19	1979	12	577	12	7	22	8
23	1979	13	1365	5	3	26	9

Tabelle 15: BEZIEHUNG ZWISCHEN DER IMPLANTATLIEGEDAUER UND DEM ZEITPUNKT DER PROTHETISCHEN VERSORGUNG

P : Patientennummer
J : Jahr der ersten Messung
I : Bezeichnung des gemessenen Implantates
L : Liegedauer des Implantates in Tagen
RL : relative Liegedauer in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der prothetischen Versorgung
negatives Vorzeichen = vor dem Einsetzen der prothetischen Suprakonstruktion
positives Vorzeichen = nach prothetischer Versorgung

P	J	I	L	RL	P	J	I	L	RL
34	1980	11	28	-106	30	1980	25	338	+220
33	1980	21	29	-120	26	1980	12	344	+166
22	1979	21	55	-140	17	1979	22	345	+233
22	1979	22	55	-140	28	1980	11	349	+168
32	1980	11	56	-112	8	1979	21	357	+165
8	1979	21	63	-129	11	1979	22	365	+197
8	1979	21	102	-90	14	1979	22	366	+241
3	1978	14	126	-54	12	1979	21	369	+219
31	1980	11	164	-24	7	1979	11	371	+265
4	1978	14	165	-17	16	1979	11	445	+249
4	1978	14	167	-15	16	1979	21	445	+249
14	1979	22	169	+44	27	1980	12	445	+291
8	1979	21	183	-9	11	1979	22	456	+288
6	1979	21	184	+70	6	1979	21	519	+405
15	1979	21	189	-1	7	1979	11	532	+426
8	1979	21	193	+1	20	1979	22	532	+405
9	1979	22	207	-31	4	1978	14	542	+360
16	1979	11	243	+89	24	1980	21	546	+287
16	1979	21	243	+89	21	1979	11	549	+406
3	1978	14	293	+113	19	1979	12	577	+388

P	J	I	L	RL
18	1979	21	640	+525
20	1979	22	726	+599
25	1980	21	732	+622
7	1979	11	734	+628
18	1979	21	836	+721
13	1979	11	889	+798
13	1979	11	1134	+1043
13	1979	12	1134	+1043
23	1979	13	1365	+1234
29	1980	21	1478	+1433

Tabelle 16: ERGEBNISSE DER UMFRAGE 1980

P : Nummer der Patienten, die an der Umfrage teilnahmen
01 - 15 : Nummer der Fragen (s.Seite 55,56)
j : ja
jj : ja mit Bejahung der Teilfrage
jn : ja mit Verneinung der Teilfrage
j0 : ja mit unbest. Antwort auf die Teilfrage
n : nein
0 : unbestimmte Antwort
- : keine Antwort
Frage 03: 3 = "schwach", 4 = "immer wieder", 5 = "vereinzelt"
Frage 04: ja = "ja anfangs"
Frage 054: k = "kalt", h = "heiß"
Frage 06: 1 = "sensibel", 2 = "äußerst sensibel", 3 = "unempfindlich", 4 = "ängstlich" 5 = " keine Ängste"
Frage 15: st = "ja ständig"

P	01	02	03	04	051	052	053	054	06	11
102	-	n	n	n	n	n	n	n	1	n
009	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
067	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
001	j	n	3	n	n	n	n	n	3	n
057	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
139	j	j	4	n	n	n	j	h	1	n
049	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
124	j	n	5	n	n	n	n	n	4	n
026	j	n	n	ja	n	n	n	n	0	n
027	n	n	n	n	n	n	n	n	1	n
111	j	n	n	ja	n	n	n	n	5	n
089	j	n	n	n	n	n	n	kh	4	n
142	j	n	3	n	n	n	n	k	0	n
116	j	j	4	n	n	n	n	n	0	n
053	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n

P	01	02	03	04	051	052	053	054	06	11
119	j	n	n	n	n	n	n	n	4	n
131	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
025	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
081	j	n	5	n	j	n	n	kh	5	n
137	j	n	n	n	n	n	n	n	2	n
097	j	n	5	n	n	n	n	0	1	n
114	j	n	n	n	n	n	n	1	n	n
010	j	j	n	j	-	-	-	-	1	n
117	j	n	3	n	n	n	n	n	5	n
078	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
087	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
004	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
154	j	n	n	n	n	n	n	k	3	n
156	j	n	3	n	n	n	n	n	1	n
047	j	n	5	n	n	n	n	n	1	n
107	j	n	n	n	n	n	n	n	-	n
003	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
031	j	j	n	n	j	n	n	n	0	n
180	j	n	n	n	n	n	n	k	5	n
104	j	n	3	n	n	n	n	n	4	n
125	j	n	n	n	n	n	n	k	1	n
013	-	n	n	n	n	n	n	n	5	n
083	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
152	j	n	n	j	n	n	j	n	1	n
021	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
140	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
005	j	j	n	n	n	n	j	n	3	n
112	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
075	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
120	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
054	j	n	5	n	n	n	n	n	3	n
079	j	n	n	n	n	n	n	n	2	j
144	j	j	5	j	n	n	j	n	4	j
106	j	n	3	n	n	n	n	n	4	n
109	j	n	4	n	n	n	n	n	5	n
123	j	-	3	n	n	n	n	n	1	n

P	01	02	03	04	051	052	053	054	06	11
086	j	n	4	n	n	n	n	n	1	n
069	j	n	n	n	n	n	j	n	3	n
098	j	n	n	n	j	n	n	n	1	n
136	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
128	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
121	j	n	3	j	j	n	n	kh	1	n
085	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
018	j	n	5	n	n	j	n	n	2	j
135	j	n	3	n	n	n	n	k	1	n
099	j	n	n	j	n	n	n	n	-	n
122	j	n	n	n	n	n	n	k	1	n
115	j	n	n	n	n	n	n	n	1	j
072	j	n	n	j	n	n	j	n	5	n
113	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
036	j	n	5	j	n	n	n	n	1	n
059	j	n	n	n	n	n	n	n	-	n
141	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
066	n	n	n	n	n	n	n	n	-	n
155	n	n	n	n	j	n	n	k	2	n
095	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
132	n	n	n	n	n	n	n	k	3	j
012	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
105	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
091	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
101	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
133	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
127	j	n	n	n	n	n	n	n	-	n
074	j	j	5	n	n	n	j	n	1	n
092	j	n	n	n	n	n	n	n	-	n
062	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
100	j	n	3	n	n	n	n	k	5	n
073	j	j	n	n	n	n	n	n	1	j
088	j	n	n	n	n	n	j	n	4	n
068	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
045	j	n	n	n	n	n	n	n	-	n
063	j	n	n	n	n	n	n	k	3	n

P	01	02	03	04	051	052	053	054	06	11
011	j	n	n	j	j	n	n	n	5	n
023	j	n	n	n	n	n	n	n	1	n
007	j	n	n	n	n	n	n	n	4	n
070	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
008	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
071	j	-	n	n	j	n	n	h	-	n
138	j	n	n	n	j	n	j	n	1	-
134	j	n	n	n	n	n	n	n	3	n
076	j	n	n	n	n	n	n	n	5	n
096	j	n	n	n	n	n	n	k	-	n
082	j	n	n	n	n	n	n	n	-	n

P	12	13	14	15	P	12	13	14	15
102	n	n	n	n	013	jj	n	n	n
009	jj	j	n	st	083	n	n	n	n
067	n	n	n	n	152	jn	n	j	j
001	0	n	n	n	021	jj	n	n	n
057	n	n	j	n	140	jj	n	0	n
139	jj	n	j	n	005	n	n	j	n
049	n	n	n	n	112	jj	n	n	n
124	jj	0	0	n	075	n	n	j	n
026	n	n	n	n	120	n	n	j	n
027	j0	n	0	n	054	jj	n	n	st
111	n	n	n	n	079	jj	n	n	n
089	n	n	n	n	144	jn	n	0	n
142	n	n	0	n	106	n	n	n	n
116	jj	n	n	n	109	jj	n	n	n
053	n	n	n	n	123	jn	n	n	n
119	n	n	n	n	086	n	n	n	n
131	n	n	j	n	069	0	n	j	n
025	jj	n	j	n	098	jn	j	j	n
081	n	n	j	n	136	jj	n	n	n
137	n	n	n	n	128	n	j	j	jn
097	jj	n	j	n	121	n	n	j	jn
114	n	n	n	n	085	n	n	n	n
010	j	n	j	st	018	n	n	n	n
117	n	n	n	n	135	jn	n	n	jn
078	0	n	0	n	099	jn	n	n	n
087	n	n	n	n	122	jn	n	j	n
004	n	n	j	n	115	n	n	n	n
154	n	n	n	n	072	jj	n	n	n
156	n	n	n	n	113	n	n	n	n
047	n	n	n	n	036	0	n	j	n
107	0	0	0	n	059	0	n	0	n
003	n	n	n	n	141	jn	n	j	jn
031	n	n	j	n	066	jj	n	n	st
180	n	n	n	n	155	n	n	j	n
104	0	n	0	n	095	n	0	j	n
125	0	n	j	n	132	jj	n	n	n

P	12	13	14	15
012	n	n	n	n
105	n	n	n	n
091	n	n	n	n
101	n	n	n	n
133	n	n	n	n
127	n	n	n	n
074	j0	n	j	n
092	n	n	n	n
062	jn	n	n	n
100	jj	n	j	jn
073	jj	n	n	n
088	n	n	n	n
068	n	n	j	n
045	n	n	0	n
063	n	n	j	n
011	n	0	n	n
023	0	n	0	n
007	n	n	j	n
070	0	n	n	n
008	n	n	n	n
071	n	0	n	n
138	jj	n	0	n
134	n	n	0	n
076	jn	n	n	n
096	n	n	j	n
082	n	n	0	n

Tabelle 17: ERGEBNISSE DER UMFRAGE 1981

Anzahl der eingegangenen Fragebögen: 18

Frage 1: ja = 16 nein = 2

Frage 2: a) ja = 7 nein = 1
b) ja = 2 nein = 0
c) ja = 8

Frage 3: von 8 Patienten beantwortet (s. Frage 2c)

a) Mißempfindungen	ja = 0	nein = 1
b) Schmerzen	ja = 0	nein = 1
c) Spannungsgefühle	ja = 5	nein = 1
d) Temperaturempfindungen	ja = 3	nein = 1

Frage 4: von 8 Patienten beantwortet (s. Frage 2c)

a) "unverändert"	4 Antw.
b) "schwächer"	3 Antw.
c) "stärker"	1 Antw.

Frage 5: ja = 2 nein = 16

Frage 6:

a) "genauso gut"	5 Antw.
b) "etwas geringer"	7 Antw.
c) "deutlich schwächer"	3 Antw.
d) "größer"	1 Antw.

von 2 Patienten nicht beantwortet

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. ACKERMANN, F.:
Das Interferenzverhalten der Taktilität oberer Inzisivi - zugleich ein Beitrag zur Neurophysiologie des parodontalen Sensoriums
Med.Diss., Tübingen (1983)

2. ANDERSON, D.J., HANNAM, A.G., MATHEWS, B.:
Sensory mechanisms in mammalian teeth and their supporting structures
Physiol.Rev. Vol.50, 2 (1970)

3. ANDERSON, D.J., LINDEN, R.W.A.:
Sympathetic modulation of intraoral mechanoreceptor activity
J.Dent.Res.Vol.56, D 125 (Abstr.) (1977)

4. BÜSING, C.M., d'HOEDT, B. et al.:
Morphological demonstration of direct deposition of bone on human aluminium oxide ceramic dental implants
Biomaterials Vol.4, 125 - 127 (1983)

5. BRUGGENCATE, G.T., JUNG, R.:
Allgemeine Sinnesphysiologie
in: Physiologie des Menschen
Bd. 10, 183 - 229 Urban und Schwarzenberg
Wien (1974)

6. BRUNEMARK, P.I. et al.:
Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw
Almqvist a. Wiksell International
Stockholm (1977)

7. CATTON, W.T.:
Mechanoreceptor function
Physiol.Rev. Vol.50, 3, 297 - 318 (1970)

8. CAVALLI - SFORZA, L.:
Biometrie - Grundzüge biologisch - medizinischer Statistik
G.Fischer Verlag, Stuttgart (1974)

9. EDEL, A., WILLS, D.J.:
A method of studying the effects of reduced alveolar support on the sensibility to axial force on the incisor teeth in humans.
J.Clin.Periodont. 2, 218 - 225 (1975)

10. EPKER, B.N., FROST, H.M.:
Correlation of bone resorption and formation with the physical behavior of loaded bone
J.Dent.Res. 49, 1, 33 - 41 (1965)

11. FRENKEL, G., SCHULTE, W. et al.:
Abschlußbericht der Forschungsgruppe "Zahn - und Kieferimplantate" des Landes Baden - - Württemberg
10/11 (1980)

12. GRAF, U., HENNING, H.-J., STANGE, K.:
Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik
Springer Verlag (1966)

13. GREEN, D.M., SWETS, J.H.:
Signal detection theory and psychophysics
Kap.5, 117 - 148
John Wiley a. Sons Inc. (1966)

14. GRIFFIN, C.J.:
The fine structure of end - rings in human periodontal ligament
Arch.oral.Biol. Vol.17, 785 - 797 (1972)

15. GRIFFIN, C.J., MALOR, R.:
An analysis of mandibular movement
in: Physiology of mastication
178 - 180, S.Karger (1974)

16. GRIFFIN, C.J., SPAIN, H.:
Organization and vasculature of human periodontal ligament mechanoreceptors
Arch.oral.Biol. Vol.17, 913 - 921 (1972)

17. HANNAM, A.G.:
Receptor fields of periodontal mechanosensitive units in the dog
Arch.oral.Biol. Vol.14, 793 - 801 (1969)

18. HANNAM, A.G.:
Periodontal mechanoreceptors (Chap.6)
in: Mastication
Eds.:D.J.Anderson B.Matthews
J.Wright (1976)

19. HARALDSON, T.:
Functional evaluation of bridges on osseointegrated implants in the edentulous jaw
Göteborg (1979)

20. HEIMKE, G., GRISS, P., KREMPIEN, B.:
Keramische und keramikbeschichtete Knochenersatzwerkstoffe
BMFT - FBT 77 - 70, Forschungsbericht
NTÖ 27/II (1976)

21. HEIMKE, G.:
Enossale Implantate aus Aluminiumoxidkeramik
Dtsch.zahnärztl.Z. 33, 306 - 310 (1978)

22. HEIMKE, G.:
Materials and systems in oral implantology
Dental Implants (Sonderdruck) (1980)

23. HENTRICH, R.L., GRAVES, G.A., et al.:
An evaluation of inert and resorbable ceramics for future clinical orthopedic applications
J.Biomed.Mater.Res. 5, 25 - 51 (1971)

24. HERHOLZ, T.:
Die taktile Sensibilität bei marktoten u. wurzelspitzenamputierten oberen Frontzähnen
Med.Diss., Tübingen (1978)

25. HUND, A.:
Verwendung von Sprays als Oberflächenanästhetika in der Zahnheilkunde
Med.Diss., Tübingen (1976)

26. JENZ, K.P.:
Die Berührschwelle menschlicher Zähne
Med.Diss., Tübingen (1976)

27. JOHANSSON, R.S., OLSSON, K.A.:
Microelectrode recordings from human oral mechanoreceptors
Brain Res. 118, 307 - 311 (1976)

28. KAWAMURA, Y.:
Recent concepts of the physiology of mastication
Adv.oral.biol. Vol.1, 77 - 109 (1964)
Academic Press N.Y.

29. KAWAMURA, Y.:
Physiology of mastication
S.Karger (1974)

30. KAWAMURA, Y., WATANABE, M.:
Studies on oral sensory thresholds
Med.J. Osaka University
Vol.10, 3 - 4, 291 - 301 (1960)

31. KREMPIEN, B., SCHULTE, W. et al.:
Lichtoptische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an der Grenzfläche von Implantaten aus Aluminiumoxidkeramik im Unterkiefer von Hunden
Dtsch.zahnärztl.Z. 33, 332 - 340 (1978)

32. KRISTEN, K., KREMPIEN, B. et al.:
Der Einfluß von Formen von Aluminiumoxidkeramik - Implantaten auf die Verweildauer im Unterkiefer des Hundes
Dtsch.zahnärztl.Z. 33, 311 - 318 (1978)

33. KUBOTA, K., OSONAI, K., MASCQI, T.:
Sensory innervation of maxillary dentition
J.dent.Res. 53, 1099 (1974)

34. LEWINSKY, W., STUART, D.:
The innervation of the periodontal membrane
J.Anat. Bd.71, 98 - 103 (1936)

35. LINDEN, R.W.A.:
A comparison of touch thresholds in normal and pulpless human central incisors
J.dent.Res. 53, 1055 (1974)

36. LINN, W.:
Die Umgebungsreaktion bei Zahnimplantaten aus Aluminiumoxidkeramik im Langzeitversuch
Med.Diss. Heidelberg (1981)

37. LÖWENSTEIN, W.R., RATHKAMP, R.:
A study on the pressoreceptive sensibility of the teeth.
J.dent.Res. 3, 287 - 294 (1955)

38. LÖWENSTEIN, W.R.:
Excitation and changes in adaptation by stretch of mechanoreceptors
J.Physiol. 133, 585 - 602 (1956)

39. LUHR, H.-G., MAERKER, R. et al.:
Histologische Untersuchungen zur Frage der primären Knochenheilung nach Kompressions-osteosynthese
Fortschr. Kiefer- u. Gesichtschir. 19, 13 - 17 (1975)

40. LUKAS, D., D`HOEDT, B., SCHULTE, W.:
Das Tübinger Implantat - statistische Ergebnisse nach 7 jähriger Beobachtung
Vortrag auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde in Garmisch - Partenkirchen (1982)

41. MÜHLBRADT, L.:
Grundzüge der Neurophysiologie des Kauorgans
Dtsch.zahnärztl.Z. 31, 282 - 290 (1976)

42. MÜHLBRADT, L.:
Die Berührschwelle bei gesunden und erkrankten Parodontien
Vortrag auf der Jahrestagung der Dtsch.Ges. Parodont. (1975)

43. MÜHLBRADT, L., Jenz, K.-P., LUKAS, D.:
Die Berührschwelle bei gesunden und erkrankten Parodontien
Dtsch.zahnärztl.Z. 31, 406 - 410 (1976)

44. MÜHLBRADT, L., MEYLE, J., LUKAS, D.:
Die Tastsensibilität Tübinger Sofortimplantate
Dtsch.zahnärztl.Z. 35, 334 - 338 (1980)

45. MÜHLBRADT, L., LUKAS, D.:
Belastungsempfindung u. taktile Schwelle an Oberkieferzähnen
Vortrag auf der Jahrestagung der Dtsch.Ges. Parodont. (1974)

46. MÜNCH, J., SCHRIEVER, H.:
Die Zähne als Sinneswerkzeug.
Z.Biologie Bd 91 (1931)
J.F.Lehmannn Verlag, München

47. NEY, TH., LUKAS, D., SCHULTE, W.:
Das Intrusionsverhalten Tübinger Implantate
Dtsch.zahnärztl.Z. 35, 300 - 333 (1980)

48. PFAFFMANN, C.:
Afferent impulses from the teeth due to pressure and noxious stimulation
J.Physiol. 97, 207 - 219 (1939)

49. PIMENIDIS, M.Z., HINDS, J.W.:
An autoradiographic study of the sensory innervation of the teeth
J.dent.Res. 7:56, 827 - 840 (1977)

50. RIEDIGER, D.:
Zur Reinnervation freier Hauttransplantate im Gesichtsbereich
Med.Diss., Tübingen (1977)

51. SACHS, L.:
Angewandte Statistik
Springer Verlag, Berlin (1974)

52. SANDHAUS, S.:
Bone implants and drills and taps for bone surgery
Brit. Pat. No.1, 083, 769, 20.9. (1967)

53. SCHENK, R.K.:
Histologie der primären Knochenheilung
Fortschr. Kiefer- u. Gesichtschir. 19, 8 - 12 (1975)

54. SCHOLZ, F.:
Bewegungsverhalten bei Stoßanregung des Implantates im Vergleich zum natürlichen Zahn
Dtsch.zahnärztl.Z. 36, 567 - 570 (1981)

55. SCHULTE, W., MÜHLBRADT, L. et al.:
Das Tübinger Sofortimplantat
Dtsch.zahnärztl.Z.33, 5 (1978)

56. SCHULTE, W.:
Die Muskelentspannung zur Therapie der Arthropathien des Kiefergelenks - zugleich ein Beitrag zur Steuerung des muskulo - mandibulären Bewegungssystems
Dtsch.zahnärztl.Z. 22:7, 858 - 873 (1967)

57. SCHULTE, W.:
Okklusionsstörungen, Kaumuskulatur und Kiefergelenke
Der freie Zahnarzt 16,17 (1972)

58. SCHULTE, W., HEIMKE, G.:
Das Tübinger Sofortimplantat
Die Quintessenz 6, 17 - 23 (1976)

59. SCHULTE, W., KLEINEIKENSCHEIDT, H. et al.:
Konzeption und Prüfung des Tübinger Sofortimplantates
Dtsch.zahnärztl.Z. 33, 319 - 325 (1978)

60. SCHULTE, W., KLEINEIKENSCHEIDT, H. et al.:
Tierexperimente zur Frage der Einheilung des Tübinger Sofortimplantates
Dtsch.zahnärztl.Z. 33, 326 - 331 (1978)

61. SCHULTE, W.:
Das Tübinger Implantat aus Frialit -
- fünfjährige Erfahrungen
Dtsch.zahnärztl.Z. 36, 544 - 550 (1981)

62. SCHULTE, W.:
Wissenschaftlich geprüfte Implantatsysteme in der Praxis
Kursunterlagen (1983)

63. SCHULTE, W.:
Das enossale Tübinger Implantat aus Aluminiumoxid (Frialit) - Der Entwicklungsstand nach 6 Jahren
Zahnärztl.Mitteil. 71:19, 20, 1114 - 22, 1181 - 92 (1981)

64. SCHULTE, W., D'HOEDT, B. et al.:
Periotest - neues Meßverfahren der Funktion des Parodontiums
Zahnärztl.Mitteil. 73:11, 1229 - 1240 (1983)

65. SCHUMACHER, G.-H., SCHMIDT, H.:
Anatomie und Biochemie der Zähne
465 - 468, G.Fischer (1972)

66. SCHROEDER, H.E.:
Orale Strukturbiologie
G.Thieme Verlag (1976)

67. SESSLE, B.J.:
Temperature, touch, taste and olfaction (Chap.2)
in: Oral Biology
Eds.:G.T.Roth, R.Calwes
C.V.Mosby Company, St.Louis (1981)

68. SHAMOS, M.H.:
The origin of bioelectric effects in mineralized tissues
J.Dent.Res. 44:6, 1114 - 1115 (1965)

69. SIIRILÄ, H., LAINE, P.:
The tactile sensibility of the parodontium to slight axial loadings of the teeth
Act.odont.scand. Vol. 21, 415 - 429 (1963)

70. SKRAMLIK, E.:
Die Zähne als Vermittler von Empfindungen
Dtsch.Stomat. 2, 326 - 335 (1952)

71. STEENBERGHE, D. van, VRIES, J.H. de:
Psychophysical threshold level of periodontal mechanoreceptors in man
Archs.oral.Biol. Vol.23, 1041 - 1049 (1978)

72. SOLTESZ, U., RIEDMÜLLER, J. et al.:
Die Spannungsverteilungen um ein stufenförmiges Implantat im Modellversuch und im Vergleich zu einfachen Grundformen
Dtsch.zahnärztl.Z. 36, 571 - 578 (1981)

73. TRYDE, G., FRYDENBERG, O., BRILL, N.:
An assessment of the tactile sensibility in human teeth; an evaluation of a quantitation method.
Act.odont.scand. 5, 233 - 256 (1962)

74. VALLBO, A.B., HAGBARTH, K.-E.:
Microelectrode recordings from human peripheral nerves
New Developments in Electromyographie and Clinical Neurophysiology
J.F.Desmedt Vol.2, 67 - 84 Karger, Basel (1973)

75. WILKIE, J.K.:
Preliminary observations on pressor sensory thresholds of anterior teeth
J.Dent.Res. Suppl. No.5, 962 (1964)

76. YAMADA, M.:
Interactions between tactile sense and the mobility of the tooth
J.Dent.Res. 46, 1256 (1967)

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. W. Schulte für die Überlassung des Themas, sowie Herrn Oberarzt Dr. L. Mühlbradt und Herrn Dipl.-Phys. D. Lukas für ihre Betreuung.

LEBENSLAUF

Am 14. November 1953 wurde ich, Jörg Meyle, als Sohn des Industriemeisters Martin Meyle und seiner Ehefrau Emmi Meyle, geb. Bodenhöfer, in Esslingen am Neckar geboren.

Von 1961 bis 1965 besuchte ich die Grundschule in Esslingen. Im April 1965 wechselte ich auf das Georgii - Gymnasium in Esslingen über. Dort legte ich im Juni 1973 die Reifeprüfung ab.

Vom Januar 1974 bis Oktober 1975 diente ich als Zeitsoldat bei der Bundeswehr.

Im Oktober 1975 begann ich mein Studium der Zahnheilkunde an der Universität Tübingen. Dort legte ich im Oktober 1976 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im März 1978 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Am 17. Dezember 1980 schloß ich mein Studium mit der zahnärztlichen Prüfung ab.

Seit Februar 1981 bin ich als wissenschaftlicher Angestellter am Zentrum für Zahn-,Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen tätig.